



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

RECYKLAČNÍ ZÁVODY V ČESKÉ REPUBLICE

RECYCLING PLANTS IN THE CZECH REPUBLIC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kateřina Průžková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Gregor, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství
Studentka: **Kateřina Průžková**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Gregor, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Recyklační závody v České republice

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro zhodnocení materiálově využitelných odpadů je vhodná celá řada průmyslových postupů. Dlouhodobě jsou za tímto účelem využívány papírny, metalurgie a sklárny. Mezi neobvyklé možnosti lze zařadit např. materiálové využití odpadů v cementárenském procesu. Složitější je recyklace plastových obalů, které se vzájemně liší jak chemickým složením, tak i fyzikálními vlastnostmi. Dříve se značná část evropských odpadních plastů exportovala, nedávno však Čína omezila dovoz těchto materiálů, proto lze očekávat rozvoj domácí recyklační infrastruktury.

Cíle bakalářské práce:

Popis postupů pro nakládání s materiálově využitelnými komunálními odpady.
Popis možností vlastního materiálového využití různých skupin odpadů.
Posouzení materiálových a energetických nároků materiálové recyklace komunálních odpadů.

Seznam doporučené literatury:

Ministerstvo životního prostředí ČR: Plán odpadového hospodářství ČR pro období 2015 – 2024. Prosinec 2014, dostupné na [www: http://www.mzp.cz/cz/plan_odpadoveho_hospodarstvi_cr](http://www.mzp.cz/cz/plan_odpadoveho_hospodarstvi_cr).

European Union IPPC: Best Available Techniques (BAT) Reference Document on Waste Treatment. Srpen 2018. Dostupné na [www: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/wt.html](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/wt.html).

BEŇO, Zdeněk. Recyklace: efektivní způsoby zpracování odpadů. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství, 2011. ISBN 978-80-2-4-4240-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá recyklací složek komunálního odpadu (sklo, papír, plast). První část práce obsahuje seznámení se současným stavem nakládání s odpady a technologiemi jejich sběru. Následuje popis výroby, recyklace a využití materiálů jako druhotné suroviny včetně materiálové náročnosti při recyklaci plastu. Součástí práce je seznam recyklačních závodů, který je rozdělen podle typu zpracovávaného odpadu. Samostatná kapitola je věnována technologii recyklační linky na plast a její energetická náročnost. Následně je přiblížena finanční náročnost pořízení této recyklační linky a jednotlivých prvků.

Klíčová slova

Odpadové hospodářství, sběr odpadu, recyklace, technologie recyklačních linek, energetická náročnost, účinnost recyklace, materiálová náročnost

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on recycling the municipal waste components (glass, paper, plastic). First part of the thesis contains a research into the current state of the waste management and its collection technologies. The following chapter consists in description of the waste components, their recycling and utilization as secondary raw materials including resource efficiency during the plastic recycling. The next part of the work comprises the list of recycling plants, which is sorted by the type of the waste processed. A separate chapter is focused on the technology of the plastic processing recycling line and its energy intensity. Subsequently, the cost of this recycling line and its components is introduced.

Keywords

Waste management, waste collection, recycling, technology of recycling lines, energy intensity, recycling efficiency, material efficiency

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PRŮŽKOVÁ, K. Recyklační závody v České republice. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 62 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Gregor, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Recyklační závody v České republice vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 25. 5. 2019

Kateřina Průžková

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Jiří Gregor, Ph.D. za cenné rady a připomínky v průběhu psaní závěrečné práce. Především děkuji za trpělivost a ochotu při konzultacích.

OBSAH

ÚVOD.....	1
Motivace a cíle práce.....	2
1 Legislativní rámec	3
2 Komunální odpady a jejich složky	6
3 Recyklace.....	9
3.1 Recyklace skla (sklářny)	10
3.1.1 Výroba skla	15
3.1.2 Využití skla jako odpadu.....	16
3.1.3 Úprava skleněných střepů	17
3.1.4 Sklářský průmysl v ČR	18
3.2 Recyklace papíru (papírny).....	18
3.2.1 Složení a výroba papíru.....	19
3.2.2 Úprava papíru jako odpadu	21
3.2.3 Papírenský průmysl v ČR.....	24
3.3 Recyklace plastů	25
3.3.1 Druhy plastů	25
3.3.2 Recyklační technologie plastů.....	27
3.3.3 Recyklace PVC	29
3.3.4 Recyklace PET	31
3.3.5 Recyklace LDPE, HDPE a PP	33
3.3.6 Firmy – recyklace plastů	34
4 Technologie recyklační linky na plast	35
4.1 Mycí linka na plasty	35
4.2 Aglomerační linka.....	40
4.3 Regranulační linka	41
4.4 Energetický, ekonomický a materiálový pohled na regranulační linku.....	44
Závěr.....	53
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	55
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	59
SEZNAM OBRÁZKŮ	60
SEZNAM TABULEK	61
CHEMICKÉ NÁZVOSLOVÍ	62

ÚVOD

Současná doba je charakteristická rychlým rozvojem společnosti, hospodářství a nových technologií. S tím úzce souvisí i produkce odpadů. Jednou z vlastností konzumní společnosti je snaha dosáhnout spokojenosti a tím roste spotřeba obalů, které následně končí jako odpad. Se zvyšujícími se nároky na životní úroveň však dochází k ubývání zdrojů primárních surovin a zároveň k nárůstu objemu odpadů. Společnost si je těchto skutečností vědoma a začíná obracet svou pozornost na jejich využití.

Velmi diskutovaným celosvětovým problémem se stala otázka omezení vzniku odpadů, jejich využití nebo odstranění, které musí být bezpečné, ekonomicky výhodné a především environmentálně přijatelné. [1], [2]

Členské státy Evropské unie (dále jen „EU“) používají při zpracování odpadů tzv. hierarchii odpadů (obr. 1), která určuje posloupnost či uspořádání jednotlivých přístupů v nakládání s odpady a jejich pozici na stupnici hodnot. Podle stupnice hodnot jsou přístupy seřazeny následovně: předcházení vzniku odpadů, příprava k opětovnému použití, recyklace, jiné využití, odstranění.

Prvním stupněm je předcházení vzniku odpadů, kterého lze dosáhnout například odpovědným spotřebitelským chováním. Na druhém stupni se nachází příprava k opětovnému použití. Dalším stupněm je recyklace, tj. opětovné využití odpadu jako druhotné suroviny. Pokud nelze odpad materiálově využít přichází na řadu čtvrtý stupeň. Jedním ze způsobů jiného využití je získání energie spalováním odpadů. Posledním stupněm pyramidy je odstranění (skládání), které je považováno za nejméně vhodný způsob nakládání s odpady a dochází k němu až po vyčerpání všech ostatních možností. [3], [2]



obr. 1: Hierchie nakládání s odpady [3]

Motivace a cíle práce

Mezi klíčové problémy odpadového hospodářství patří zejména hromadění plastů, které z velké části skončí ve spalovnách nebo na skládkách. Z důvodu nedostatečné kapacit a zpracovatelských zařízení bylo přes 75 % plastového odpadu vyváženo z Evropy do Číny (údaj z roku 2017). V Číně docházelo k velkému hromadění dováženého odpadu, a proto Čína zpřísnila celkové podmínky dovozu u 24 druhů odpadu (např. plastové fólie). Díky této změně řeší většina států důležitou otázku, co s nahromaděným plastovým odpadem, které tyto podmínky nesplňuje. Například maximální hodnota příměsi vytríděných surovin je 1 %. V celé Evropě je nedostatek kapacit a zařízení, které by byly schopny plastový odpad zpracovávat. [4]

Mohlo by dojít i ke zvýšení hromadění plastového odpadu v oceánech. Ten se do oceánů dostává především z řek. Přes 268 000 tun plastů se nachází ve světových oceánech. Takové množství plastů by 425krát obmotalo zeměkouli kolem rovníku.

Hromadění plastů v oceánech ovlivňuje především život mořských živočichů a ptáků. Každoročně zemře stovky až tisíce živočichů. Jejich smrt je způsobena zamotáním do odpadků nebo jejich pozřením, které způsobí ucpání trávicího traktu.

Při výpravách s cílem zmapovat znečištění oceánů vědci zjistili, že až 70 % odpadu končí na dnech oceánů a to i v hloubkách více než 6 000 metrů pod hladinou. Například igelitový sáček byl nalezen na nejhlubším místě světa v Mariánském příkopu. [5]

Základní řešení, co s plasty a co se separovanou složkou komunálního odpadu je předmětem této bakalářské práce.

Předkládaná bakalářská práce má splňovat následující cíle:

- Popis postupů pro nakládání s materiálově využitelnými komunálními odpady.
- Popis možností vlastního materiálového využití různých skupin odpadů.
- Posouzení materiálových a energetických nároků materiálové recyklace komunálních odpadů.

1 Legislativní rámec

Jednou z klíčových legislativních oblastí, které je nutné intenzivně řešit je ochrana životního prostředí, jejichž součástí je i odpadové hospodářství. Ministerstvo životního prostředí (dále jen „MŽP“) zajišťuje hlavní státní dozor a je ústředním správním úřadem. Pro potřeby předkládané bakalářské práce je nutné definovat základní pojmy, které vycházejí ze zákona č. 185/2001 Sb. ze dne 15. května 2001 o odpadech a o změně některých dalších zákonů (dále jen „zákon o odpadech“).

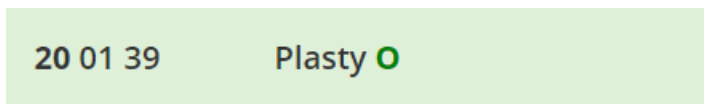
- *Odpad* – každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit.
- *Komunální odpad* (dále jen „KO“) – veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání.
- *Nakládání s odpady* – obchodování s odpady, shromažďování, sběr, výkup, přeprava, doprava, skladování, úprava, využití a odstranění odpadů.
- *Separace* – oddělování toku odpadů podle druhu, kategorie a charakteru odpadu s cílem usnadnit specifické zpracování.
- *Recyklace odpadů* – jakýkoliv způsob využití odpadů, kterým je odpad znovu zpracován na výrobky, materiály nebo látky pro původní nebo jiné účely jejich použití, včetně přepracování organických materiálů; recyklací odpadů není energetické využití a zpracování na výrobky, materiály nebo látky, které mají být použity jako palivo nebo zásypový materiál.
- *Směsný komunální odpad* (dále jen „SKO“) – směsný komunální odpad je odpad, který zůstává po oddělení využitelných složek a nebezpečných složek z komunálních odpadů. Někdy také je nazýván „zbytkovým“ odpadem. *Původce odpadů* – právnická osoba nebo fyzická osoba oprávněná k podnikání, při jejichž činnosti vznikají odpady, nebo právnická osoba nebo fyzická osoba oprávněná k podnikání, které provádějí úpravu odpadů nebo jiné činnosti, jejichž výsledkem je změna povahy nebo složení odpadů, a dále obec od okamžiku, kdy nepodnikající fyzická osoba odpad odloží na místě k tomu určeném; obec se současně stane vlastníkem tohoto odpadu.
- *Znovuvyužití* – postupy, kterými jsou výrobky nebo jejich části, které nejsou odpadem, znovu použity ke stejnému účelu, ke kterému byly původně určeny.
- *Druhotná surovina* – pojem druhotná surovina není v legislativě odpadového hospodářství vymezen. Druhotnou surovinou se rozumí materiály, které jsou bezprostředně využívány ve výrobním procesu, tj. bez jakékoli úpravy či zpracování jsou určeny k materiálovému využití/recyklaci.
- *Svoz odpadů* – představuje přepravu odpadů z různých míst dopravním prostředkem, který není mobilním zařízením ke sběru a výkupu odpadů. [6], [7]

Legislativa České republiky

Hlavním legislativním dokumentem, který upravuje nakládání s odpady v České republice (dále jen „ČR“), je *zákon* o odpadech. Tento zákon zpracovává příslušné předpisy

Evropské unie a dále upravuje pravidla pro předcházení vzniku odpadů a nakládání s nimi. Musí být dodržovány pravidla ochrany životního prostředí a ochrany lidského zdraví. Zákon popisuje zařazování odpadů na základě Katalogu odpadů. Odpady na základě katalogového čísla jsou popsány za pomoci tří dvojčíslí. Pro přiblížení je v na obr. 2 zobrazen příklad.[6]

První dvojčíslí určuje skupinu. Skupina je vybrána podle toho, z jakého oboru, oblasti nebo technologického procesu odpadu pochází (např. 20 - Komunální odpad). Druhé dvojčíslí určuje podskupinu. Podskupina blíže identifikuje označení odpadu (např. 01 - složky z odděleného sběru). Poslední dvojčíslí označuje druh odpadu (např. 39 - plasty) [8]



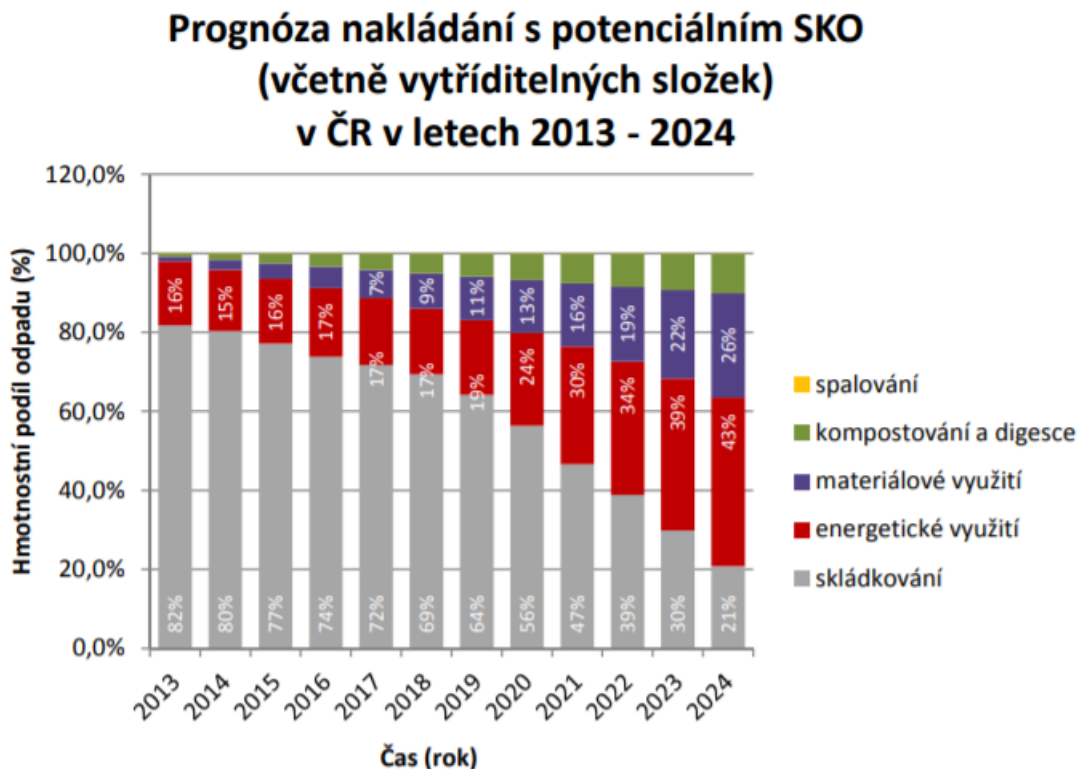
obr. 2: Plasty (Katalog odpadů) [8]

Plán odpadového hospodářství ČR (dále jen „POH ČR“) byl zpracován Ministerstvem životního prostředí podle *zákona* o odpadech ve spolupráci s příslušnými orgány veřejné správy a veřejností. [6]

Plán odpadového hospodářství ČR

Nařízení vlády č. 352/2014 Sb., o plánu odpadového hospodářství ČR pro období 2015-2024 je strategií v oblasti odpadového hospodářství na následující desetileté období a je závazným podkladem pro rozhodovací a jiné činnosti správních úřadů, krajů a obcí v oblasti odpadového hospodářství. Předcházení vzniku odpadů, zvýšení recyklace a materiálové využití odpadů jsou hlavními strategickými cíli tohoto dokumentu, který je založen na principu dodržování hierarchie nakládání s odpady, která byla zmíněna již v úvodu.

POH obsahuje prognózy produkce komunálních odpadů ČR. Jednou z prognóz je produkce SKO a materiálově využitelné složky. Jejich produkce by měla vykazovat klesající trend v budoucích letech, což splňuje prevenční přístupy k předcházení vzniku odpadů. Součástí prognóz je i nakládání s jednotlivými typy odpadů. Prognóza nakládání s potenciálním SKO včetně vyřaditelných složek v ČR v letech 2013–2024 je zobrazeno na obr. 3.



obr. 3: Prognóza nakládání s potenciálním SKO v letech 2013–2024 [9]

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech určuje jako cíl, zvýšit nejméně na 50 % hmotnosti celkovou úroveň přípravy k opětovnému použití a recyklaci

do roku 2020 alespoň u odpadů z materiálů jako je sklo, plast, kov a papír. Pro tento cíl je navrženo stanovení postupných hodnot v určených letech zobrazených v tab. 1. [6], [10], [9]

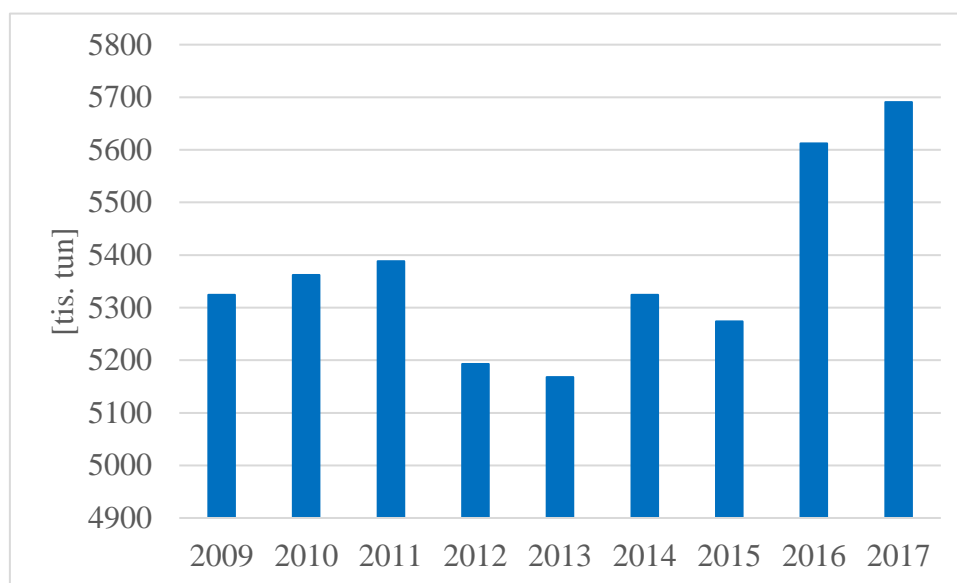
tab. 1: Stanovení postupných hodnot v budoucích letech [11]

Rok	Cíl
2025	55 %
2030	60 %
2035	65 %

2 Komunální odpady a jejich složky

KO je složen ze směsného komunálního odpadu, separovaně sbíraných složek, nebezpečného odpadu a objemného odpadu. Separovaně sbírané složky, jako je například papír, sklo, plast a nápojové kartony, jsou tříděny a dále zpracovány.

V roce 2017 vyprodukovali obyvatelé ČR 5,7 mil. tun KO. Z toho 50 % bylo využito materiálově či energeticky a 45 % odpadu bylo uloženo na skládkách. Z prognózy celkové produkce KO ve výše zmíněném POH ČR vyplývá, že by každým rokem mělo docházet k poklesu produkce. Na níže uvedeném obr. 3 je vidět, že prognóza nebyla naplněna, naopak dochází k nárůstu produkce KO. [9], [12]

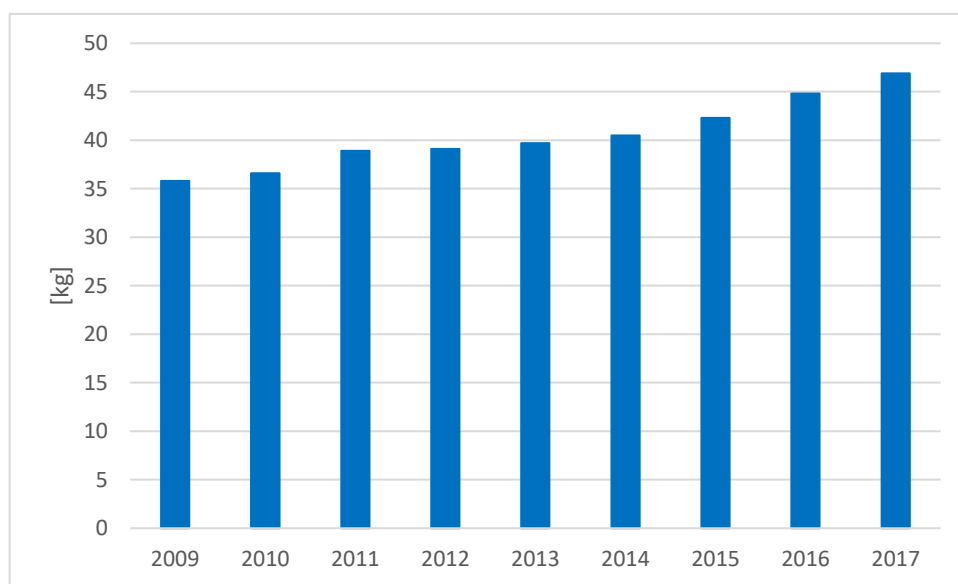


obr. 4: Produkce komunálních odpadů v ČR 2009–2017 [12]

V České republice dochází od roku 2000 k rozvoji systému třídění KO, který zajišťuje společnost EKO-KOM¹. Ve Výročním shrnutí 2017 této společnosti byly uvedeny následující údaje. V roce 2017 třídilo odpad 73 % obyvatel ČR a průměrná docházková vzdálenost ke kontejnerům se zkrátila na 92 metrů. Možnost třídít odpady má však 99 % obyvatel, tudíž v následujících letech by se dalo očekávat zvýšení množství vytríděného odpadu. V současné době je občanům ČR k dispozici 354 tisíc barevných kontejnerů a menších nádob na třídění odpadu. Na obr. 5 je zobrazeno množství vytríděných odpadů na jednoho obyvatele.

Společnost EKO-KOM vyplácí odměny městům a obcím zapojených do systému. Dochází k vyplácení 4 kategorií odměn: odměna za zajištění míst zpětného odběru, odměna za obsluhu míst zpětného odběru, odměna za využití odpadů z obalů a odměna za zajištění energetického využití odpadů z obalů. Každá z těchto odměn může být navýšena o bonusovou složku, pokud obec či město splní podmínky pro vznik nároku.[6], [13], [14]

¹EKO-KOM je společnost provozující systém sběru a recyklaci obalových odpadů



obr. 5: Množství vytríděných odpadů na jednoho obyvatele za rok [13]

Systémy sběru

Podle třídění odpadů může být sběr rozdělen na sběr smíšeného komunálního odpadu a tříděného komunálního odpadu, který se skládá z odděleně sbíraných komodit jako plast, sklo a papír. Mezi typické systémy sběru odpadů v ČR patří:

- donáškový systém sběru,
- odvozový systém sběru (tzv. door-to-door systém),
- pytlový systém sběru.

Donáškový systém sběru je realizován pomocí kontejnerů s horním nebo spodním způsobem výsypu (typické jsou zvonové, podzemní nebo polo-podzemní kontejnery). Kontejnery se spodním výsypem mají objem 0,5 - 3,5 m³ a kontejnery s horním výsypem mají objem 1 100 l. Na jednom sběrném místě tzv. „sběrném hnízdě“, které je zobrazeno na obr. 6, lze nalézt kontejnery na tříděný papír, plast, čiré a barevné sklo. Modrý kontejner je určen pro papír, zelený a bílý pro sklo a žlutý pro plast. V některých městech se nacházejí i samostatné kontejnery na nápojový karton, resp. nápojový karton je sbírán ve směsi s jinou komoditou, typický je plast. Vše se odvíjí od systému sběru v daném městě/obci. Tento typ sběru využívají převážně rodinné domy (vilová zástavba) a bytové domy (sídlištní zástavba). Nevýhodou tohoto systému je nízká kvalita vytríděných surovin. Na jedno sběrné místo dochází poměrně velká skupina občanů, a ne každý vyhazuje kvalitně vytríděný odpad.

Každoročně je snaha minimalizovat docházkovou vzdálenost ke kontejnerům. Možnosti jsou buďto zahuštěním sběrné sítě (více kontejnerů na daném území) nebo výstavba nových sběrných hnízd. Aktuálně je typickým trendem i náhrada a slučování stanovišť, především v sídlištní zástavbě, kde je důraz kladen na maximalizaci parkovacích míst. V roce 2017 se docházková vzdálenost pohybovala okolo 92 metrů a na jedno sběrné místo, na které připadá přibližně 131 obyvatel. [13], [15]



obr. 6: Sběrné místo [13]

Odvozový systém sběru má největší využití v zástavbě rodinných domů i v bytových domech. Jedná se o plastové popelnice o objemu 80 - 360 litrů nebo o kontejnery s horním výsypem (typický 1100 l), které jsou umístěny přímo u domu. Jejich barevné rozdělení je stejné jako u předchozího způsobu sběru. K odvozu tříděného odpadu dochází jednou za 2-3 týdny. [15]

Pytlový systém sběru zobrazený na obr. 7 je aktuálně velmi populárním systémem především v menších obcích. Hlavním výhodou tohoto systému je vysoká kvalita vytríděných surovin a je využívána zejména u rodinných domů, které jsou typické pro menší obce. Každá domácnost vlastní tři plastové barevné pytle o objemu 70 - 120 litrů. Odvoz plných pytlů je realizován nákladním autem přímo od domů. V některých městech označují jednotlivé pytle čárovým kódem, z kterého lze identifikovat kvalitu třídění jednotlivých domácností. [16]



obr. 7: Ukázka pytlového sběru [17]

3 Recyklace

V současné době je často recyklace zaměňována za třídění, resp. separaci. Pro účely této práce se pojmem recyklace rozumí: způsob využití odpadů, kterým je odpad znovu zpracován na výrobky, látky nebo materiály pro původní nebo jiné účely opětovného využití. Pro účely této kapitoly je nutné definovat následující pojmy:

- **Třídění/separace** – proces, kdy je tok odpadů oddělen podle druhu, kategorie a charakteru odpadu s cílem usnadnit specifické zpracování.
- **Opětovné využití** – postupy, kterými jsou výrobky nebo jejich části, které nejsou odpadem, znovu použity ke stejnému účelu, ke kterému byly původně určeny. [6]

Hlavní důvody pro recyklaci odpadů je ochrana životní prostředí, určitá ekonomická efektivnost a úspora primárních materiálů.

Pro úspěšné fungování celého procesu musí být dodrženy čtyři základní stupně, mezi které patří:

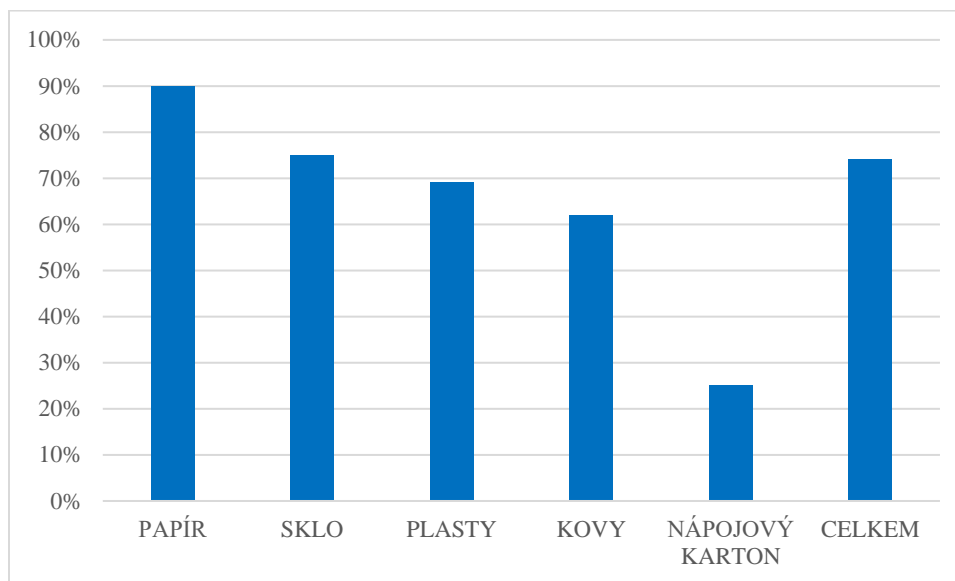
- oddělený sběr odpadů,
- dotřídění odpadů (typické na třídících, resp. dotřídňovacích linkách),
- zpracování druhotné suroviny,
- prodej nových výrobků.

Hlavní přednost recyklace je posuzována na základě tří hlediskem tzv. 3E (ekonomické, energetické a ekologické hledisko). Jedná se především o úsporu primárních materiálu (snížení těžby), energie a omezení zatěžování životního prostředí z pohledu využití odpadu.

Tento způsob zpracování odpadů má i svá omezení. Třídění a sběr odpadu závisí na celkové životní úrovni obyvatel, která je závislá na ekonomické situaci státu. Z pohledu materiálové stránky brání recyklaci zákon o zachování hmoty a energie, který neumožňuje úplný uzavřený koloběh látek a energií v hospodářském systému, tzv. princip cirkulární ekonomiky. Cirkulární ekonomika je definována jako spojení několika principů, které umožňují používat minimum přírodních zdrojů a zároveň produkovat minimální množství odpadů. Recyklaci nelze provádět neomezeně, ale každý materiál má své limity. Jako příklad lze použít papír, který je možné recyklovat 5× až 6×. Po technologické stránce je problémem nedostatek sběrových, zpracovatelských a úpravárenských kapacit. Tento problém nenastává pouze v ČR, ale je to komplexní problém Evropy. [18], [19]

Největší efektivita recyklace je ve stavebním průmyslu. Za stavební odpad lze považovat například cihly, zdivo, obklady. Jednoduše řečeno dochází k drcení stavebního odpadu, který je následně využíván jako podkladní a zásypový materiál ve stavebnictví. [20].

Předkládaná bakalářská práce se prioritně zaměřuje na recyklaci separovaných složek KO (plast, papír, sklo). Na níže uvedeném obr. 8 je zobrazena míra recyklovatelnosti obalů za rok 2017.



obr. 8: Dosažená míra recyklace obalů za rok 2017 [21]

3.1 Recyklace skla (sklárny)

Podle archeologických nálezů bylo sklo poprvé použito přibližně před 5 000 lety. Za objevitele skla jsou považováni Egypťané, ale především Féniciáné mají zásluhu na rozšíření sklářské výroby. Na našem území došlo k rozšíření výroby skla za vlády Karla IV. a Rudolfa II. [22]

Z chemického hlediska je sklo definováno jako přechlazený ztuhlý roztok křemičitanů, oxidů kovů nebo jejich sloučenin. Tyto látky se zahříváním v pecích na danou teplotu, která záleží na složení a druhu skla, mění v taveninu, která ochlazením ztuhne v pevnou amorfní hmotu. Dříve byly považovány za sklo pouze hmoty vznikající tavením SiO_2 (oxid siřičitý) a jiných oxidů kovů. V dnešní době jsou získávána skla i bez použití SiO_2 , jako například skla boritá.

Hlavní složkou skla je již výše zmíněný SiO_2 (oxid siřičitý), jehož obsah se pohybuje od 60 % do 75 %. Mezi další důležité složky patří B_2O_3 (oxid boritý), Al_2O_3 (oxid hlinitý), CaO (oxid vápenatý), Na_2O (oxid sodný) a u olovnatých skel PbO (oxid olovnatý).

Mezi skla lze zařadit hmoty, které vykazují následující vlastnosti:

- mechanická odolnost,
- tvrdost,
- tepelná roztažnost a
- chemická odolnost.

Mechanická odolnost skla je poměrně malá z důvodu malé pevnosti v tahu a křehkosti skla. Z praktického hlediska je významná především pevnost v tahu, jelikož tahové síly jsou nejčastější příčinou lomu.

Podle Mohsovy stupnice ²tvrdosti má sklo škálu tvrdosti mezi 4,5 - 6,5 stupni. Pro měření technických materiálů není tato stupnice příliš vhodná z důvodu poměrně velkého a nerovnoměrného rozdělení stupňů. Její využití je zejména v oblasti mineralogie.

Tepelnou roztažností skla je myšleno roztahování skla při zahřívání nebo smršťování při ochlazování. Míru roztažnosti udává číslo nazývané koeficient roztažnosti (například hlavní složka skla SiO₂ (oxid křemičitý) tepelnou roztažnost snižuje). Důležitá je roztažnost především u skel, které musí vydržet rychlé změny teplot.

Mezi nejdůležitější optickou vlastnost skla patří jeho průhlednost. Okenní sklo propouští přibližně 80 - 90 % světla. Zbytek paprsků je pohlcován a odražen. Propouštěné světlo vykazuje odchýlení, lom nebo disperzi³.

Chemická odolnost křemičitých skel je velmi dobrá, ale je závislá na složení skla. [18], [22]

Sklo je možné rozdělit do několika kategorií. Záleží především na složení a způsobu výroby. Kategorie skla v závislosti na jeho složení: [23]

- sodnovápenatá skla,
- boritokřemičitá skla,
- olovnatý křišťál a křišťálové sklo.

Sodnovápenatá skla

Klasické sodnovápenaté sklo je složeno ze 71 – 75 % SiO₂ (oxid siřičitý), který je získán nejčastěji z písku, 12 – 16 % Na₂O (oxid sodný) z kalcinované sody, 10 – 15 % CaO (oxid vápenatý) z CaCO₃ (uhličitán vápenatý) a z dalších složek, které ovlivní určité vlastnosti skla. [23]

Boritokřemičité sklo

Tato skla obsahují vyšší procento SiO₂ (oxid siřičitý), které se pohybuje v rozmezí 70 – 80 %. B₂O₃ (oxid boritý) je obsažen z 10 až 15 %. K typickému složení patří i 4 – 8 % Na₂O (oxid sodný) nebo K₂O (oxid draselný) a 2 – 7 % Al₂O₃ (oxid hlinitý). Boritokřemičitá skla mají nízký koeficient tepelné roztažnosti a jsou dobře odolná proti chemické korozi.

Sklo je používáno na farmaceutické obaly, laboratorní zařízení, svítidla a nádobí. [23]

Olovnatý křišťál a křišťálové sklo

Olovnatý křišťál je sklo vznikající nahrazením velké části CaO (oxid vápenatý), místo kterého je použit PbO (oxid olovnatý). Křišťálové sklo je složeno z 54 – 65 % PbO (oxid olovnatý), 13 – 15 % Na₂O (oxid sodný) nebo K₂O (oxid draselný) a z dalších složek, které zaujímají jen malou část z celkového složení.

Pokud je sklo složeno z více než 24 % PbO (oxid olovnatý), má vysoký index lomu a výbornou opracovatelnost, proto je z tohoto skla vyráběna velká škála tvarů a dekorů. Výsledným výrobkem je vysoce kvalitní nápojové sklo, mísy a karafy. [23]

²Mohsova stupnice – jedná se o stupnici tvrdosti. Vyjadřuje schopnost jednoho materiálu rýt do druhého.

³Disperze – světlo, které se rozptyluje na duhové barvy.

Poslední skupinou je speciální sklo, které zaujímá zbylých 5 % z celkové produkce skla. Jeho složení je závislé na vlastnostech, které má mít konečný výrobek. Mezi aplikace speciálních skel patří skla pro elektrotechnologii a elektrotechniku, optická skla atd. [23]

Sklářský průmysl v České republice je rozdělen do osmi odvětví (obalové sklo, užitkové sklo, ploché sklo, speciální sklo, nekonečné skleněné vlákno, keramické vlákno, minerální vlákno, frity). Podle informací Asociace sklářského a keramického průmyslu (ASKP) je většina skla tavena v kontinuálních tavicích agregátech o výkonu přibližně od 50 t/den.

Obalové sklo

Tvarovací proces probíhá ve dvou etapách. Nejdříve je vytvarována baňka lisováním pomocí razníku nebo vyfukováním stlačeným vzduchem. Konečný dutý tvar je dokončen vyfouknutím. Využití skla je zobrazeno na obr. 9.



obr. 9: Využití obalového skla [24]

Užitkové sklo

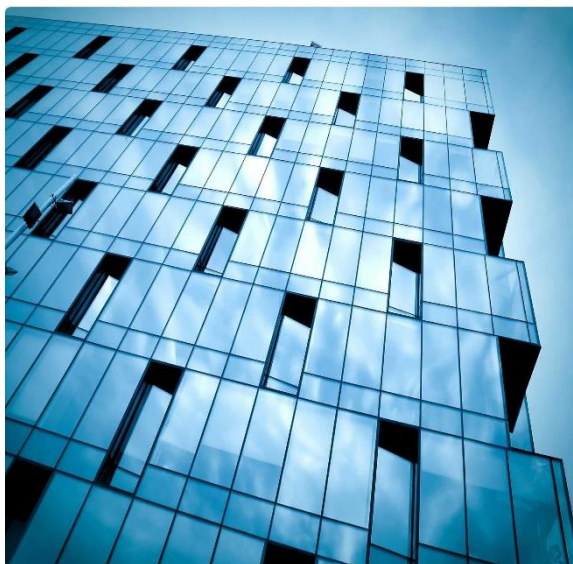
Odvětví zahrnující velké množství druhů výrobků od křišťálu, který je vyráběn ručně, až po sériovou výrobu stolního skla. Sklo je tvarováno automaticky, poloautomaticky i ručně a je možné ho dále opracovat i za studena. Využití skla je zobrazeno na obr. 10.



obr. 10: Využití užitkového skla [25]

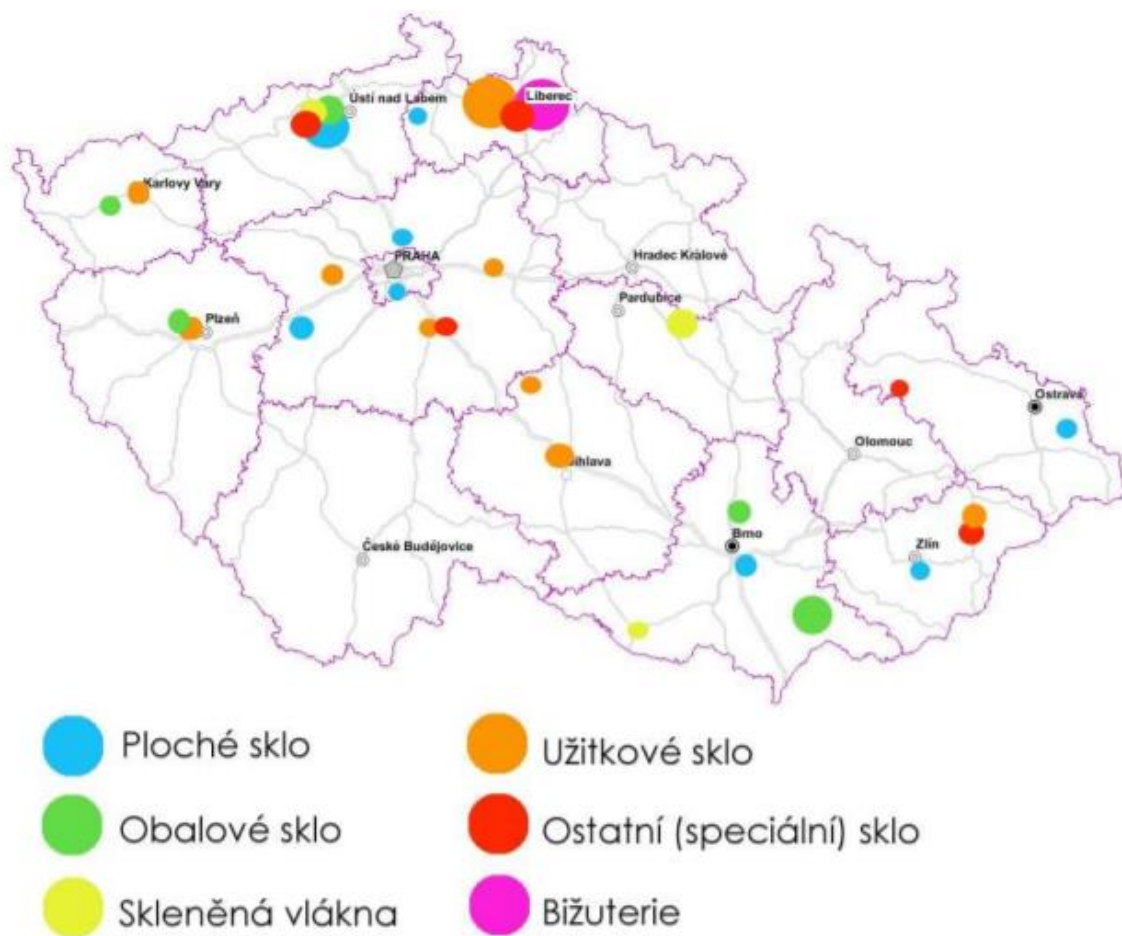
Ploché sklo

Základní princip výroby je lití skloviny na lázeň roztaveného cínu a tvarování pásu. Na výstupu je chladicí pec, kterou prochází skleněný pás, a dochází ke snížení zbytkového pnutí. Sklo je výhradně vyráběno na příčně otápěných regenerativních pecích. Využití skla je zobrazeno na obr. 11.



obr. 11: Využití plochého skla [26]

Mezi další odvětví patří výroba speciálního (technického) skla, nekonečného skleněného vlákna, keramického vlákna, minerálního vlákna a frity. Rozmístění sklářského průmyslu je zobrazeno na následující mapě (obr. 12), (tab. 2). [23]



obr. 12: Mapa sklářského průmyslu v České republice [23]

tab. 2: Seznam firem sklářského průmyslu [27]

Typ vyráběného skla	Název firmy
Ploché sklo	AGC Fenestra a.s.
	AGC Automotive Czech, a.s.
	AGC Flat Glass Czech, a.s.
	AGC Processing Teplice, a.s.
	Amirro, s.r.o.
Užitkové sklo	Blažek Glass, s.r.o.
	Crystal Bohemia, a.s.
	Crystalex CZ, s.r.o.
	Kavalierglass a.s.
	Moser, a.s.
	Preciosa Ornela a.s.
Obalové sklo	O - I Czech Republic a.s.
	Sklárny Moravia, a.s.
	Stölzle - Union, s.r.o.
	Vetropack Moravia Glass, a.s.
Ostatní (speciální) sklo	Blažek Glass, s.r.o.
	Crystal Bohemia, a.s.
	Crystalex CZ, s.r.o.
	Kavalierglass a.s.
	Moser, a.s.
	Preciosa Ornela a.s.
Skleněná vlákna	Eutit s.r.o.
	Knauf Insulation, spol. s.r.o.
	Vetropack Moravia Glass, a.s.
Bižuterie	Empex Bohemia s.r.o.

3.1.1 Výroba skla

První částí výroby je výběr surovin pro výrobu skla známých jako sklářský kmen. Jeho tavením vzniká sklovina, která je dále mechanicky zpracována na konečný produkt výroby. Nejdůležitější částí výroby je proces tavení, který je rozdělen na tři části:

- primární tavení – do teplot cca 1 300 °C,
- čerění a homogenizace – do teplot cca 1 650 °C (podle typu skla),
- sejítí – teploty cca 900 – 1 300 °C.

V první části primárního tavení dochází k dekarbonizaci, která probíhá při teplotě 500 °C. Nejprve se začne rozpouštět písek a začínají vznikat křemičitany. Tyto reakce probíhají v teplotách v rozmezí 750 až 1 200 °C. Sklovina se stává průhlednou a následuje fáze čerění a homogenizace.

K odstranění přebytečných bublin čerením je nejčastěji používán síran sodný. Dochází k přeměně síranu sodného při 1 450 °C na oxid sodný, plynné oxidy síry a kyslík. Bubliny sloučené s jinými plyny se zvětšují a stoupají k povrchu. K tvarování výrobku je nutné, aby sklovina byla dokonale homogenizovaná. Sejití je poslední fází tavení, dochází k rozpuštění zbývajících bublin a zchladnutí taveniny na pracovní teplotu mezi 900 a 1350 °C. [18], [23]

3.1.2 Využití skla jako odpadu

Sklo jako odpad je významnou komoditou, z které lze po dotřídění získat druhotnou surovinou. Do výrobního koloběhu je možné navrátit téměř celé množství surovin, přičemž vlastnosti nového výrobku vyrobeného z recyklovaného skla jako z primární suroviny jsou zdravotně nezávadné. Používáním recyklovaného skla dochází k šetření neobnovitelných přírodních zdrojů, ale i ke snižování emisí oxidu uhličitého vznikajícím při výrobě taveniny. Pro přiblížení uvádím emisní faktory plochého a obalového skla. U plochého skla je hodnota emisního faktoru 595 kg CO₂/t a u obalového skla se emisní faktor pohybuje v rozmezí 350 – 400 kg CO₂/t. V neposlední řadě recyklování skla snižuje množství skla na skládkách, které zatěžuje životní prostředí po dlouhou dobu. [28]

Skleněný odpad může být rozdělen do dvou skupin. První skupinou je odpad, který vzniká při výrobě skla a skleněných výrobků. Odpady vzniklé při výrobě skleněných vláken, boritosilikátového skla, užitkového skla lze bez velkých problémů recyklovat, a to z důvodu dodržení čistoty suroviny. Druhou skupinou jsou skleněné odpady z autovraků, stavební, demoliční činnosti a komunálních odpadů.

V České republice je typický sběr a recyklace obalového skla. Sklo z domácností je rozděleno na lahve rozbité a nerozbité. Rozbité lahve jsou zahrnuty do skleněných střepů a nerozbité jsou vráceny zpět do výrobního procesu. Nejprve jsou láhve oplachovány v roztoku alkálií (NaOH), následně jsou vypláchnuty vodou a zbaveny etikety. Takto upravené lahve jsou opět naplněny, opatřeny etiketou a dány zpět do obchodů k prodeji. Lahve vydrží 40 - 70 cyklů a poté je nutné je přetavit.[28]

V českých domácnostech jsou skleněným odpadem (obr. 13) převážně lahve od nápojů, zavařovací sklenice a rozbité skleničky. Na základě informací společnosti EKO-KOM každá česká průměrná domácnost vytrídí za rok 30,36 kg skla (údaj z roku 2018). Vytríděné sklo je odnášeno do zelených nebo bílých nádob na sklo, kde volba nádoby záleží na barvě skla. V České republice je rozmístěno celkově 89 244 kontejnerů na sklo. [29]

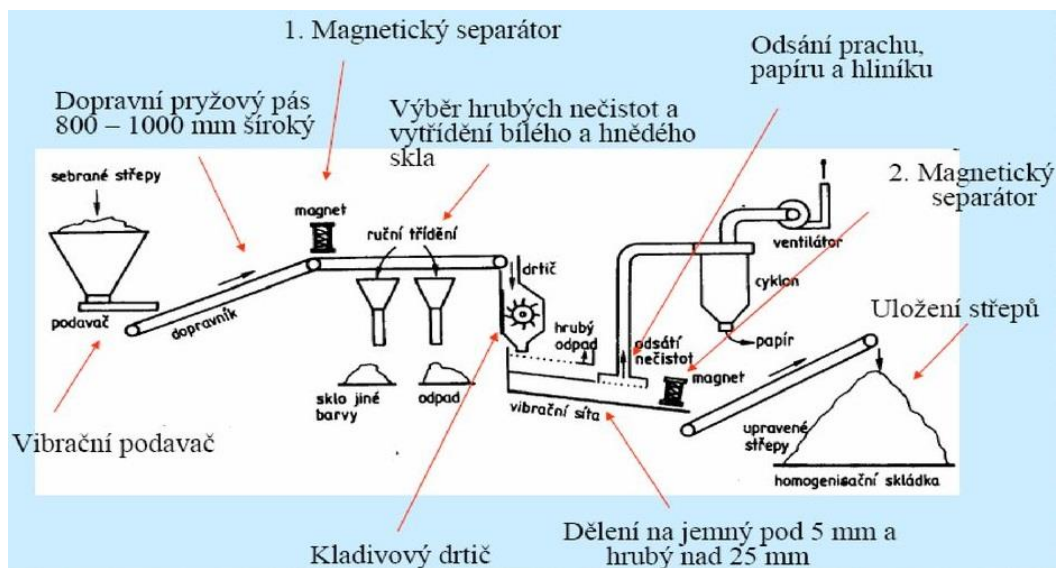


obr. 13: Odpadové sklo [30]

3.1.3 Úprava skleněných střepů

K následné úpravě je nutné sklo převézt na speciální dotřídňovací linku. Samotný svoz je realizován svozovými firmami za pomoci svozových automobilů. Dotřídění skla je velice náročné a z tohoto důvodu je na našem území dotřídňovacích linek jen několik. Linky mohou být samostatné nebo jsou již součástí skláren. Aby nedošlo k znehodnocení celé várky skla, je nutné velmi důkladné dotřídění podle barevného spektra. Manažer pro druhotné suroviny ze společnosti EKO-KOM, a.s., uvedl: „Požadavky na kvalitu vstupní suroviny při recyklaci skla jsou nesmírně vysoké. Sklo je průhledný materiál a každé jeho znečištění je vidět. Norma dokonce připouští pouze 1 gram nečistot na 100 kg upravených skleněných střepů. To je kvalita, kterou není možné běžnými technickými prostředky dosáhnout, a proto existuje v České republice pouze několik třídících linek, které se tříděním skla zabývají.“ [31]

V první fázi putuje sklo na ruční dotřídňovací linku, kde jsou vybrány nečistoty a příměsi jako je porcelán, keramika, kovy a další pevné částice. Následně je sklo nadrceno a roztrženo pomocí dopravníků a vibračních sít. Výsledná velikost střepů se pohybuje v řádech milimetrů (50 - 80 mm). Požadované kvality na konci procesu je dosaženo optickým čidlem s laserovou senzoricí. Každý střep je prosvícen a následně je vyhodnoceno, zda dosahuje požadované kvality. Pokud se střep nepodaří prosvítit, znamená to, že není skleněný, eventuálně je znečištěn prachem nebo jiným materiálem. Neprosvícený střep je vzduchovou tryskou odfouknut od čistých skleněných střepů. Nakonec následuje skladování střepů a jejich převoz k druhotnému využití. Základní schéma linky na úpravu střepů je na obr. 14. [18], [31]



obr. 14: Schéma linky na úpravu střepek [18]

3.1.4 Sklářský průmysl v ČR

Přehled firem, které zpracovávají sklo, jsou zobrazeny v tab. 3

tab. 3: Závody sklářského průmyslu [32]

Název firmy	Sídlo	Specializace
AGC Processing Teplice, a. s.	Teplice	výroba, zpracování plochého skla
Crystalex CZ s. r. o.	Nový Bor	výrobce užitkového skla
Kavalierglass a. s.	Sázava	výroba borosilikátového skla
O - I Czech Republic, a. s.	Dubí	výroba obalového skla
Sklárny Moravia	Úsobrno	výroba obalového skla
Stölzle - Union s. r. o.	Heřmanova Huť	výroba obalového skla pro farmaceutický průmysl
Vetropack Moravia Glass	Kyjov	výroba obalového skla
SPL Recycling	Chotějovice	zpracování plochého skla, recyklační linka
REMAT GLASS, s. r. o.	Kelčany	nákup obalového a plochého skla, recyklační linka
Envy Recycling s. r. o.	Stráž pod Ralskem	recyklační linka na odpadové ploché sklo

3.2 Recyklace papíru (papírny)

Slovo papír je odvozeno ze staroegyptského slova papyrus, který je předchůdcem papíru. První zmínka o papíru pochází z Číny, kde byl poprvé vyroben v 1. stol. n. l. Došlo zde k vytvoření písma a bylo nutné vyrobit látku, na které by se dalo psát. Surovinou pro výrobu papíru mohly být staré oděvy a rybářské sítě, které byly vyráběny z celulózových

vláken⁴. Tato vlákna se zjemňovala tlčením a poté se rozemlela kamením. Vzniklá jemná kaše byla rozložena na bambusovou rohož, která propouštěla vodu. Když voda otekla, byl list lisován a sušen. Z Číny se papír začal rozšiřovat do Koreje a Japonska a poté do dalších zemí světa. V Čechách byl papír poprvé použit v Trutnově v roce 1050 a do 16. století bylo založeno 22 papíren.

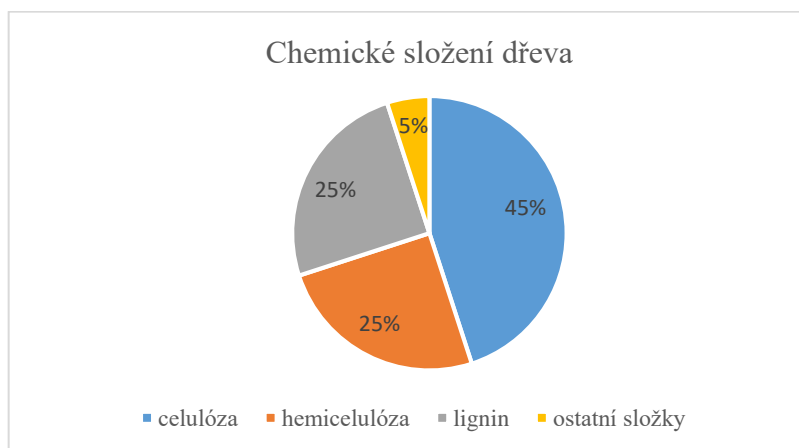
Každý den je využíváno velké množství papíru ve školách, kancelářích a domácnostech. Jeho spotřeba neustále vzrůstá, a proto je nutné s papírem efektivně nakládat, tj. třídit jej a následně recyklovat. [18], [33]

3.2.1 Složení a výroba papíru

Všechny vhodné suroviny pro výrobu papíru (vláknoviny nebo vláknité suroviny) musí být schopny zplstění⁵ a jejich vlákna musí být pružná a pevná. Dělení vláken je provedeno na základě jejich původu.

- vláknité suroviny rostlinné:
 - vlákna se stébel lodyh rostlin (sláma, bambus, kukuřice),
 - vlákna z rostlinných lýk (konopí, len),
 - vlákna z chloupků plodů (bavlna),
 - dřevo (smrk, jedle, borovice, modřín, topol, osika),
- vláknité suroviny živočišné (vlna, hedvábí),
- vláknité suroviny minerální (azbest),
- vláknité suroviny speciální (kovová, syntetická, skleněná vlákna).

Výše uvedená vlákna se označují jako vlákna primární a po recyklaci vznikají vlákna sekundární. Nejčastěji je k výrobě papíru používáno dřevo (obr. 15), zejména smrk, jedle, borovice, modřín, topol a osika. Z ekonomického hlediska patří k nejméně nákladné surovině a je vhodné k výrobě všech druhů papíru. Vhodnou volbou je výroba papíru z jehličnanů. [34]



obr. 15: Chemické složení dřeva [34]

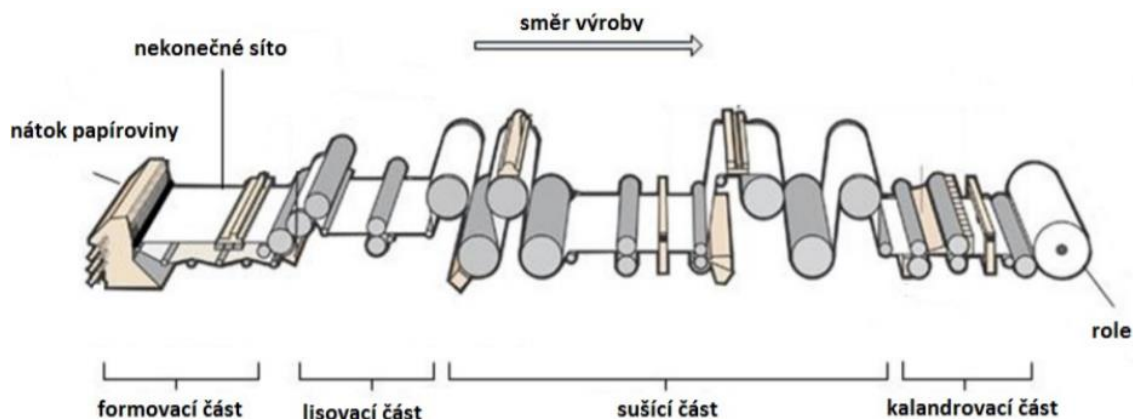
⁴Celulózová vlákna neboli celulóza je základní stavební hmotou všech rostlin.

⁵Zplstění – jedná se o proces propletení vláken

Vláknina je definována jako vláknitý materiál získaný mechanickými nebo chemickými, případně kombinovanými technologiemi z vláknitých surovin. Hlavními vlákninami pro výrobu papíru jsou buničina a dřevovina, které jsou získávány ze dřeva. Buničinu lze rozdělit na mechanickou a chemickou, a to podle způsobu získávání vláken.

Mechanická buničina je získávána účinkem tření kmenů o rotující brusné kameny. Z této buničiny se vyrábí novinový papír a papír na psaní. Má dobrou sací schopnost, ale nevýhodou je nažloutlost papíru. Chemická buničina je vyráběna chemickou cestou. Může vznikat v kyselém (sulfitová celulóza) nebo zásaditém prostředí (sulfátová celulóza). Používanější metodou výroby chemické buničiny je sulfátový proces, při kterém jsou použity chemické sloučeniny NaOH (hydroxid sodný) a Na₂S (sulfid sodný). Tímto způsobem se vyrobí 80 % veškeré buničiny. Z chemické celulózy se vyrábí psací, kopírovací nebo obálkový papír. [18]

Samotný papír je vyráběn na papírenských strojích (obr. 16). Vstupní surovinou je papírovina, což je suspenze vlákniny ve vodě, upravená mletím, plněním, klížením někdy i barvením. [35]



obr. 16: Schéma výroby papíru [35]

Výroba je rozdělena do čtyř částí:

1. Formovací část – dochází k nátoku naředěné papíroviny a zplstění papíroviny na nekonečném síti
2. Lisovací část – dochází k odsávání vody a zvýšení obsahu sušiny
3. Sušící část – dochází k vysušení papíru
4. Kalandrovací část – dochází k uhlazení papíru a navíjení na role

3.2.2 Úprava papíru jako odpadu

Až 90 % procent papírových obalů je ročně v ČR recyklováno a dále využito. Podle dostupných informací společnosti EKO-KOM každá česká domácnost vytrídí průměrně 49 kg (údaj z roku 2018) papíru a 225 tisíc tun papíru je odvezeno z obcí a měst. [36]

Buničínové vlákno, které tvoří papír lze recyklovat 5 až 6krát. Pro dobrou kvalitu a požadované vlastnosti papíru je nutné přidat i primární buničinu. Všechny papírenské systémy používají stejný postup recyklace:

- sběr a skladování sběrového papíru,
- rozvolňování a rozvlákňování sběrového papíru,
- mechanické odstranění nečistot a příměsí,
- procesy sloužící k zesvětlování a odbarvování vláken,
- čištění a cirkulace provozní vody. [18]

Sběr a skladování sběrového papíru

Před odvozem papírového odpadu na dotřídňovací linku je svozové auto řádně vyčištěno, aby nedošlo k znehodnocení papíru a mohl být dále zpracováván. Na dotřídňovacích linkách jsou z dovezeného odpadu vybrány viditelné příměsí a papír je rozdělen zvlášť na časopisy, noviny, karton⁶ s lepenkou⁷ a ostatní papír. Takto vytríděné složky jsou slisovány (obr. 17) a odvezeny k následné recyklaci do papíren a dalších zařízení. [36]



obr. 17: Slisované balíky po dotřídění [36]

⁶Lepenka je definována jako více slepených vrstev papíru o vyšší plošné hmotnosti než 250 g/m².

⁷Karton je definován jako přechod mezi papírem a lepkou s plošnou hmotností od 150 do 250 g/m².

Nápojové kartony TetraPak jsou speciální skupinou. Jsou složeny z mnohonásobné vrstvy buničiny (75 - 80 %), polyethylénu (15 %) a hliníku (5 %). Podle použití je dělen na dva druhy. Aseptické obaly⁸, kartony s hliníkovou fólií, jsou používány pro uchování trvanlivých výrobků bez použití konzervantů. Dalším typem jsou neaseptické obaly⁹, bez hliníkové fólie, jejichž využití je uchování pasterovaných nápojů a potravin.

V dnešní době je nápojový karton tříděn samostatně nebo v kombinaci s papírem či plastem. Kontejnery by měly být označeny oranžovou nálepkou (*obr. 18*). Zpracování kartonu probíhá v papírnách, které vlastní technologické zařízení na oddělení vrstev. Jednotlivé vrstvy jsou odděleny ve vířivém rozvlákňovači, na jehož sítěch jsou zachycena dlouhá papírová vlákna (cca 70 - 90 %). Zbylý polyetylén a hliník je využit například na ohřev páry v papírnách. Z recyklovaného nápojového kartonu se vyrábí školní sešity, krabice, toaletní papír a také tepelná izolace ve stavebnictví. [18], [37]



obr. 18: Kontejner pro nápojový karton [37]

Rozvolňování a rozvlákňování sběrového papíru

Nejdříve jsou slisované balíky zbaveny ocelového pásu. Dalším krokem je nakypření papíru před následným rozvlákňováním, aby došlo k dokonalé hydrataci. Rozlišují se dva typy rozvolňování. **Suché rozvolnění** se používá u balíků o hmotnosti nad 150 kg. Papír se nakypří tak, aby byl přístupný vodě nebo páře. Druhým typem je **mokrý rozvolnění**, u kterého dojde k promáčení papíru, roztrhání na malé kousky a k částečnému rozvlákňování.

Dalším stupněm je rozvlákňování, kde jsou z papíru uvolněna samostatná vlákna nebo malé svazečky vláken. Rozvlákňování probíhá za pomoci mechanického a hydraulického promíchávání, při kterém vznikají i shluky nečistot (nitě, kroužky, dráty), které je nutné odstranit, a proto je za rozvlákňovač zařazeno hrubé třídění s lapačem těžkých nečistot, které výše uvedené nečistoty zachytává. V některých papírnách se používají dovlákňovací stroje, které dokončí rozvlákňování. [18]

⁸Aseptické obaly – obaly, které mají 6 vrstev (4 vrstvy polyethylenu, papír, hliník)

⁹Neaseptické obaly – obaly, které mají 4 vrstvy (3 vrstvy polyethylenu, papír)

Mechanické odstranění nečistot a příměsí

Před nátokem na papírenský stroj musí dojít k čištění papíroviny. Nečistoty jsou různých velikostí i složení. Z důvodu různých velikostí jsou využívána síta s různými velikostmi děr. Po částečném vyčištění jsou vlákna čerpána z rozvlákňovače do hydrocyklonů, kde se odstraní malé těžké částice za působení odstředivé síly. Tyto částice jsou odváženy na skládku. [18]

Procesy sloužící k zesvětlování a odbarvování vláken

Při zesvětlování je z povrchu odstraněna tiskařská čern, barviva a klížidla. Recyklovaný papír má z tohoto důvodu typicky našedlou barvu. Samotné zesvětlování se provádí pomocí propírání vláken nebo pěnovou či chemickou flotací. Zvýšení bělosti je nutné k výrobě např. novinového, psacího nebo toaletního papíru. Požadovaná bělost je zajištěna odstraňováním barev. [18]

Čištění a cirkulace provozní vody

V papírnách v Evropě je využíváno velké množství podzemní i povrchové vody. Voda je nejprve předčištěna, aby splňovala požadavky na provozní vodu. Odstraňuje se z ní například železo, mangan, někdy řasy a zákal. Voda plní funkci provozní vody, chladicí vody a vody pro napájení kotlů. Stupeň recirkulace závisí na výsledné kvalitě čištěné vody a na požadované kvalitě výroby. Spotřeba vody v papírnách a lepenkárnách zpracovávajících sběrový papír je uvedena v níže uvedené tab. 4. [38]

tab. 4: Spotřeba vody v papírnách a lepenkárnách zpracovávajících sběrový papír [38]

Druh výrobku	Specifická spotřeba vody m ³ /t
novinový papír	9,0 - 20
hygienický papír	9,5 - 50
psací a tiskový papír	9,5 - 55

Připravená směs je nanášena na papírenské síto, kde se vytváří tenká vrstvička papíru. Následuje lisování a především vysušení papíru (obr. 19), aby došlo k odstranění přebytečné vody, které má nanášená papírovina (až 96 %). [36]



obr. 19: Sušení papíru [36]

3.2.3 Papírenský průmysl v ČR

V České republice existuje organizace Asociace českého papírenského průmyslu (dále jen „ACPP“), která sdružuje podniky, společnosti a fyzické osoby v oboru průmyslu papíru a celulózy. ACPP je zároveň členem Evropské konfederace papírenského průmyslu, v které má i své zastoupení. Seznam firem zabývajících se výrobou a zpracováním průmyslu je uveden v následující tab. 5. [39]

tab. 5: Závody papírenského průmyslu [39], [40]

Název firmy	Sídlo	Specializace
CEREPA	Červená Řečice	výroba a zpracování tissue papíru
EMBA, spol. s. r. o.	Paseky nad Jizerou	výroba lepenky
EUROWASTE s. r. o.	Štětí	nákup a prodej sběrového papíru
HUHTAMAKI Česká republika a. s.	Příbyslavice	papírenské výrobky
Mondi Štětí a. s.	Štětí	výroba buničin, papíru a produktů
Severočeská papírna s. r. o.	Novosedlice	lepenky, kartonáž
Smurfit Kappa Czech s. r. o., závod Morava Paper	Žimrovice	výroba papíru
Stavosur, spol. s. r. o.	Hustopeče	sběrový papír
LeoCzech spol. s. r. o.	Hostín u Vojtkovic	nákup, prodej a zpracování sběrového papíru

3.3 Recyklace plastů

Plasty stále více nahrazují ostatní materiály jako je kov nebo přírodní materiály jako dřevo. Mezi jejich typické vlastnosti patří pevnost, trvanlivost, pružnost, houževnatost, dobré izolační či antikorozní vlastnosti a nízká hmotnost, díky kterým se nedokáží v přírodě samy rozložit a tím se stává plast problematickým odpadem. Každým rokem dochází k nárůstu plastového odpadu, který je potřeba recyklovat, ale stále ho velké množství končí na skládkách. Hlavním důvodem je nedostatek zpracovatelských kapacit recyklačních zařízení. Hlavním důvodem bylo přesměrování velkého množství odpadu do Číny, a tedy nebyla prioritou aktivně budovat kapacity a recyklační zařízení v Evropě. [41]

Plasty se skládají z dlouhých řetězců molekul. Plasty mohou být přírodní a syntetické. Mezi běžný přírodní plast patří celulóza, která tvoří buněčné stěny rostlin. První syntetický plast byl vynalezen v roce 1869 Johnem Wesleyem Hyattem. Ten zpracoval celulózu s kafrem a vznikl plast, který mohl být tvarován a napodoboval přírodní látky jako je slonovina a rohovina. V roce 1907 Leo Baekeland vynalezl bakelit, což byl první plně syntetický plast, který neobsahoval už žádné přírodní molekuly a byl vhodný pro mechanickou masovou výrobu. V dalších letech chemické společnosti začali investovat do vývoje plastů a brzy začaly vznikat další nové typy plastů. Wallace Carothers v roce 1935 vynalezl nylon, jako syntetické hedvábí, z kterého byly během druhé světové války vyráběny padáky a neprůstřelné vesty. V dalších letech se plast stal hlavním výrobním materiálem. [42]

3.3.1 Druhy plastů

V současné době existuje velké množství plastů, zcela čisté plasty, různé kopolymery¹⁰ a kompozitní plasty¹¹. Lze je rozdělit do několika skupin především podle fyzikálních a mechanických vlastností. Pro účely recyklace se dělí plasty následovně: [4]

- Termoplasty

Plasty, které při působení teploty (Teplota se liší s druhem plastu, základní teploty se pohybují kolem 150 - 250 °C.) přechází z pevného stavu do měkkého. Lze je opakovaně ohřevem uvádět do tvarovatelného stavu a ochlazením do stavu tuhého (sklovitého).

- Duroplasty (termosety)

Plasty, které mají mnoho síťových vazeb mezi molekulami a nejde ho plasticky formovat teplem. Mezi duroplasty patří například epoxidové pryskyřice a polyesterové pryskyřice. K tvarování dochází za pomoci formy, vrtání, frézování, řezání i pilování.

- Elastomery (pryže)

Plasty tvořené především z kaučuků pomocí fyzikálního nebo chemického síťování. Nelze je tepelně tvarovat, ale jsou schopny velkých deformací (až 800 %), která je vratná.

¹⁰Kopolymer – plast, který je složen nejméně z dvou druhů monomeru s různým uspořádáním

¹¹Kompozitní plast – plast, který je složen ze dvou nebo více složek, které se liší fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Kompozitní plast je vyztužen různými druhy vláken.

Kvůli rozmanitosti druhů plastů byly zavedeny recyklační značky (piktogramy) (obr. 20), které pomáhají rozlišit, o jaký konkrétní typ plastu se jedná. Recyklační značka se skládá ze dvou částí – písemného a číselného kódu, který bývá doplněn grafickou značkou. Písemný kód určuje zkratku názvu plastu a číselný kód udává, z jakého materiálu je obal vyroben. Grafickým symbolem nejčastěji bývá černý trojúhelník s plnými šipkami, který označuje obaly určené k recyklaci. [43]

PET (recyklační značka 1)

Polyethylentereftalát patří mezi termoplasty. Nejčastěji je používán pro výrobu PET láhví. PET je dobře recyklovatelný, ale recyklát ztrácí časem čírost. Při zahřátí klesá jeho molární hmotnost a už z něj není možné vyrábět láhve. Z recyklátu se vyrábějí vlákna (např. spotřební textil) a fólie (např. podložka pro magnetofonové pásky). Nejlépe je recyklovatelný transparentní PET. Jako jeden z mála plastů má stále vysokou cenu na trhu druhotné suroviny (cca 11,5 Kč/kg) [4], [43]

HDPE (recyklační značka 2)

Polyethylen, plast s vysokou hustotou, patří mezi termoplasty. Používá se k výrobě potravinářských obalů, víček od nápojových lahví a obalů na čisticí prostředky. [4], [43]

PVC (recyklační značka 3)

Polyvinylchlorid se v ČR nerecykluje a může být považován za nebezpečnou látku a to z důvodu uvolňování toxických látek. PVC se nachází v linoleu, instalátérských trubkách, gramofonových deskách, potravinářských obalech a výrobcích pro medicínu. Jeho obchodní názvy jsou Novoplast, Novodur, Fatrafol nebo Durofol. [4], [43]

LDPE (recyklační značka 4)

Jedná se o polyethylen, který ale na rozdíl od HDPE má nízkou hustotu. Vyrábí se z něj mikroten nebo měkké obaly. [4]

PP (recyklační značka 5)

Polypropylen se používá pro výrobu pružných obalů (obaly na kečupy, tuby) a textilních umělých vláken. [4]

PS (recyklační značka 6)

Jedná se o polystyren, který se vyskytuje v pěnové nebo tuhé formě. Pěnový polystyren se používá jako stavební izolační materiál. Zároveň je využíván i k výrobě tácků na jídlo nebo k ochraně zboží. Z tuhého polystyrenu se vyrábí plastové nádobí a kelímky. [4]

Do skupiny ostatní plasty patří obaly vyrobené z jiných plastů než z výše šesti uvedených skupin nebo z kombinací těchto plastů zejména kompozitní plasty. Jedná se například o polykarbonáty, polyuretany, epoxidy nebo polyamidy. [4], [43]



obr. 20: Recyklační značky plastů [44]

3.3.2 Recyklační technologie plastů

Typ recyklační technologie závisí především na složení plastového odpadu, který vstupuje do recyklačního zařízení. Zdroj plastů lze rozdělit do několika skupin:

- náhodně sebraný a komunální odpad,
- směsný plastový odpad,
- jedno-druhový plastový odpad.

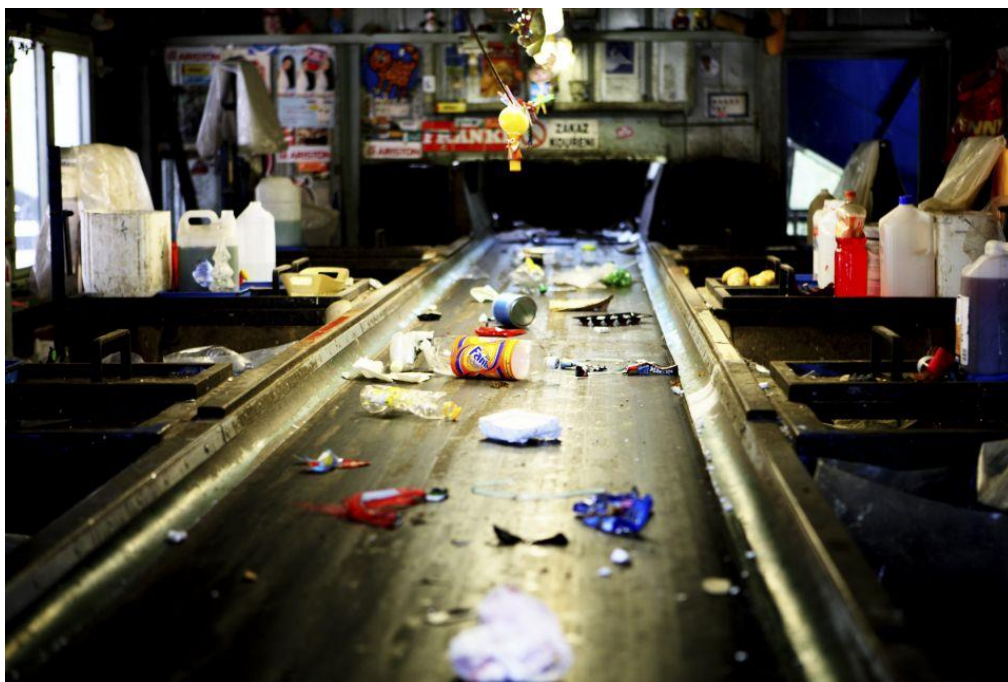
Komunální odpad obsahuje přibližně 13,8 % plastů, 22,7 % papíru, 8,7 % skla, 3,4 % nebezpečného odpadu, 18,2 % bioodpadu a 33,2 % kovu. V tomto zdroji plastového odpadu převládá PET, polyolefinické plasty a styrenové plasty. PVC je zastoupeno 1 %. [18], [45]

Směsný plastový odpad je různorodá směs plastů různého složení a kvality. Zdrojem je separovaný sběr odpadů, který je složen především z PE, PP, PET, PS, PVC.

Jedno-druhový plastový odpad je odpad složený z jednoho druhu plastu. Podle vzniku se dělí na:

- Uživatelský plastový odpad – materiál, u kterého je známé složení a je znehodnocený používáním výrobku (odpad z likvidace elektronických zařízení, zemědělských fólií, plastových stavebních prvků).
- Průmyslový plastový odpad – materiál z výrobních operací, který není znehodnocený používáním výrobku (odřezky z montáží potrubí, podlahovin).
- Technologický (zpracovatelský) odpad – materiál, u kterého je známo složení a bývá vysoké kvality. Vzniká při prvotním zpracování plastu. [41]

Podle informací společnosti EKO-KOM vytrídí průměrná česká domácnost ročně 32,4 kg plastu (údaj z roku 2018). Vytríděný plast je odvezen na dotřídňovací linku (obr. 21), kde je plast roztříděn na základní skupiny (PET, fólie, duté plastové odpady, polystyren a směsný odpad). Každá z těchto skupin je dále zpracovávána odděleně. Největší skupinu tvoří PET lahve, které se obvykle dotřídí ještě podle barev. Následně jsou plasty slisovány a ve formě balíků odvezeny ke zpracovateli. [46]



obr. 21: Třídící linka [46]

Následnou recyklaci plastových odpadů lze rozdělit do skupin podle použitých technologií na:

- fyzikální recyklace,
- chemická nebo surovinová recyklace,
- energetická recyklace.

Fyzikální recyklace (materiálová mechanická) vyžaduje neznečištěné plasty jednoho druhu. Při tomto procesu nedochází k chemické reakci recyklovaného materiálu. Tento typ recyklace probíhá za dostatečného přísunu tepelné energie, tlaku a použití různých aditiv (stabilizátory, plniva, barviva), které jsou potřeba pro přetvoření odpadního plastu na nový materiál s co nejpodobnějšími vlastnostmi a vzhledem. Používá se například pro recyklaci PVC. Při opakovaném zpracování dochází k degradaci plastu a tím k vytvoření nekvalitního regranulátu (příkladem může být LDPE). Materiálová recyklace zahrnuje procesy mletí výrobků, tepelné zpracování meliva a kompatibilizační postupy v tavenině, které slouží k přípravě vícesložkových materiálů. Fyzikální recyklace může být primární nebo sekundární. U primární recyklace má výsledný produkt podobné vlastnosti a vzhled jako výchozí materiál. Na rozdíl u sekundární recyklace má výsledný produkt odlišné vlastnosti a vzhled než výchozí materiál. [18]

Při **chemické recyklaci** jsou vstupní polymery rozloženy na tzv. oligomery¹² nebo monomerní jednotky, které jsou zpracovány další chemickou reakcí. Surovina vstupující do procesu nemusí splňovat vysoké nároky na čistotu materiálu jako u přechodného způsobu recyklace. Nevýhodou chemické recyklace je vyšší ekonomická náročnost. Příkladem

¹²Oligomery – produkty o mnohem nižší molární hmotnosti než polymery

chemické recyklace je tepelná depolymerace, při které dochází k odštěpování monomerních jednotek z konců polymerních řetězců. [18]

Surovinová recyklace je založena na termicky destrukčních procesech, během kterých dochází k rozkladu polymerů na směs plyných a kapalných uhlovodíků. Plyné a kapalné uhlovodíky jsou výstupním produktem a jsou využívány jako topné oleje. Tento typ recyklace využívá firma Enerkem¹³, která z odpadků vyrábí pohonné hmoty a chemikálie. [18]

Energetická recyklace se používá u typu plastů, které nemohou výše uvedené typy recyklace využít. Dochází k spalování plastového odpadu s cílem získat energii (tab. 6). Průměrná teplota, při které se spaluje plast se pohybuje okolo 900 °C. Ve srovnání k ostatními palivy mají plasty vysoký energetický obsah. [41]

tab. 6: Výhřevnost různých paliv [41]

palivo	výhřevnost [MJ/kg]	palivo	výhřevnost [MJ/kg]
hnědé uhlí	8 -12	PET	23
černé uhlí	28	pryž	21 - 31
dřevo	14,5	polyamid	30
kaly ze zpracování ropy	9	PE	43
PVC	16 - 25	PP, PS	44

3.3.3 Recyklace PVC

Většina plastů se vyrábí ze 100 % neobnovitelných přírodních zdrojů, kterými jsou ropa, případně uhlí. Výjimku tvoří PVC. Při jeho výrobě se používá 43 % ropy a 57 % NaCl (chlorid sodný). Další odlišností PVC je jeho životnost. Většina plastových výrobků má životnost řádově v dnech až desítkách let, zatímco výrobky z PVC mají dlouhou až velmi dlouhou dobu životnosti. Doba životnosti výrobků z PVC je uvedena v následující tab. 7. [41]

tab. 7: Životnost výrobků z PVC [41]

krátkodobá	obaly, lékařské pomůcky, kancelářské potřeby	< 2 roky	15 %
střednědobá	tapety, obuv, podlahoviny	2 - 10 let	17 %
dlouhodobá	podlahoviny, elektroinstalace, nábytek, automobily	10 - 20 let	26 %
velmi dlouhodobá	trubky, okenní profily, střešní krytiny, kabely	20 a více let	42 %

PVC je druhem plastů, u kterého lze použít fyzikální recyklaci. K primární recyklaci jsou vhodné použité výrobky z PVC, které jde snadno identifikovat a oddělit od ostatního

¹³Enerkem dostupné z: <https://enerkem.com/>

plastového odpadu. Z těchto výrobků vzniká vysoce kvalitní regranulát používající se v řadě výrobků z PVC. Příklady použití recyklátu PVC je zobrazeno v následující tab. 8. [41]

tab. 8: Příklady použití recyklátu PVC [41]

použitý výrobek	nový výrobek
láhve	lahve pro ostatní použití než potravinářské, trubky, armatury, profily
podlahoviny	podlahoviny
trubky	trubky
střešní folie	hydroizolační pásy
okenní profily	okenní profily

Fyzikální recyklace je používána při recyklaci potrubí z PVC. V dnešní době se používá až 1,5 milionu tun PVC k výrobě potrubí. Tyto potrubí se používají především k dopravě pitné vody, svodu srážkových vod, v kanalizačních sítích a pro rozvod plynů. Pouze relativně malé množství potrubí vstupuje jako odpad k následné recyklaci, jedná se o zbytkový materiál především při rekonstrukcích budov.

K recyklaci PVC potrubí dochází v současné době v Německu (např. Dekura GmbH¹⁴), Rakousku (Reststofftechnik Ges.M.B.H.¹⁵) a Holandsku (Roffelsen B.V.¹⁶). Nejprve dochází k rozřazení na jednotlivé materiálové skupiny, čištění a odstranění nežádoucích příměsí (těsnění, kovy, zemina). Následuje mletí na částice o velikosti cca 0,5 mm. Vzniklé částice jsou smíchány s nadouvadlem a tato směs je použita k výrobě středové vrstvy třívrstvého odlehčeného potrubí, jehož vnitřní a vnější vrstva je vyrobena z primárního PVC polymeru. Tyto typy trubek jsou používány například ve stokách. [41]

Podobným způsobem dochází k recyklaci podlahovin. Podlahoviny jsou často vyměňovány ještě před skončením jejich životnosti, která je cca 10 let. V Německu byla založena organizace AgPR (Arbeitsgemeinschaft PVC Bodenbelag Recycling¹⁷), která se zabývá průmyslovou recyklací podlahovin z PVC. Kapacita jejich recyklační linky je 6 000 tun ročně. Některé používané podlahoviny mohou obsahovat až 70 % recyklátu. [41]

Při surovinové recyklaci PVC (obr. 22) dochází ke štěpení makromolekul plastů na nízkomolekulární sloučeniny, které jsou ve výsledku podobné ropným frakcím. Při obsahu PVC nad 30 % se recyklace používá k získávání chlorovodíků a uhlovodíků. Uhlovodíky jsou použity jako palivo v energetickém průmyslu nebo jako vstupní surovina v chemickém průmyslu. Zatímco chlorovodík je očištěn a použit jako vstupní surovina pro výrobu monomeru. V německém městě Schkopau¹⁸ se nachází linka na surovinovou recyklaci, která zpracuje 15 tisíc tun PVC ročně. Schéma surovinové recyklace je zobrazeno na následujícím obrázku. [18]

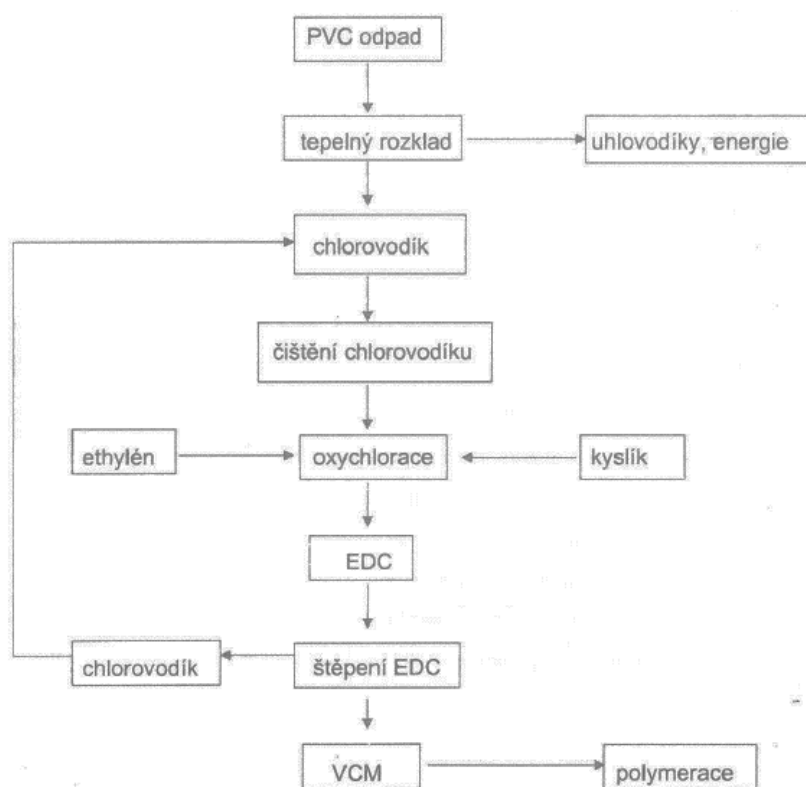
¹⁴Dekura GmbH dostupné z: <https://www.dekura.de/>

¹⁵Reststofftechnik Ges.M.B.H dostupné z: <http://reststofftechnik.at/>

¹⁶Roffelsen B.V. dostupné z: www.roffelsen.com

¹⁷Arbeitsgemeinschaft PVC Bodenbelag Recycling dostupné z: <http://www.agpr.de/cms/website.php>

¹⁸Schkopau dostupné z: <https://www.gemeinde-schkopau.de/de/>



obr. 22: Surovinová recyklace PVC [41]

Pokud není jiná možnost, dochází ke spalování PVC, jehož výhřevnost se podobá dřevu či papíru. Na rozdíl od papíru a dřeva, dochází při spalování PVC k uvolňování menšího množství CO_2 . Při spalování dochází i k uvolňování zplodin chloru do ovzduší, což je problém týkající se životního prostředí. [41]

3.3.4 Recyklace PET

Každým rokem vzrůstá množství PET odpadu, ale kvůli nedostatku recyklačních zařízení, končí přibližně jedna třetina odpadu na skládkách.

Polyethylentereftalát (PET) je vyráběn z kyseliny tereftalové, která je získávána zpracováním ropy. PET je využíván k výrobě vláken a fólií. Fólie se používají v elektrotechnice a jako podložka pro magnetofonové pásky. Z vláken se vyrábí např. spotřební textil, technické tkaniny a izolace vodičů elektrického proudu.



obr. 23: Barevně vytríděné PET lahve [46]

PET nachází největší využití jako obalový materiál ve formě PET lahví (obr. 23), které slouží k úschově nápojů, výrobě nevratných lékařských výrobků a sanitárního zboží. [18], [41]

PET lahve vynalezl americký chemik Nathaniel Wyeth v roce 1973 a už v roce 1977 byl poprvé úspěšně recyklován. Recyklační technologie se dělí na následující skupiny:

- suché recyklační pochody,
- mokré úpravářské postupy,
- zlepšené metody,
- zvláštní skupina (chemická recyklace).

Suché recyklační pochody

Tento typ recyklace probíhá bez přítomnosti vody nebo rozpouštědel. Dochází k využívání účinků tření v procesu mletí za sucha v kombinaci se vzdušným tříděním. Nejprve dojde k roztržení PET lahví, následnému odstranění uzávěru láhví a vylití zbytkového obsahu láhve. Dalším krokem je posekání láhví na malé kousky, které jsou označovány jako „chipsy“. Chipsy postupují do čistícího separátoru, kde je využito tření a separace vzduchem. [18]

Mokré úpravářské metody

Prvním krokem je vytrídění znečištěných láhví. Následuje proces mletí, který se provádí za přísunu vody. Pomletý materiál je následně přiveden do frikční pračky, kde dochází k rozvláknění nálepek na celulózu. Vzniklá směs PET, vody, celulózových vláken a nečistot prochází přes tzv. pneumatický rozdužovací stupeň. Pomocí dmýchadla v odlučovači dojde k oddělení vody s nečistotami. Takto vzniklá odpadní voda musí být podle předpisů zlikvidována. Dalším krokem je dvoustupňové praní, které se skládá z předběžné flotace a flotace. Následuje propláchnutí vodou, které zlepší stupeň čistoty. Další proplach se provádí v úpravářské lince čerstvou vodou, která se odtud vrací do flotace, pak do předběžné flotace

a následně do stupně pneumatického rozduřování. Nakonec jsou proprané odřezky PET odstředěny v odstředivce a usušeny horkým vzduchem. [18]

Do skupiny **zlepšené metody** patří technologie Supercycle TM, u které výsledný produkt dosahuje srovnatelných chemických a fyzikálních vlastností jako prvotní surovina.

Poslední skupinou je chemická recyklace, u které dochází k rozkladu PET na kyselinu tereftalovou a etylenglykol. K rozkladu dochází například pomocí methanolýzy, což je způsob rozkladu působením methanolu. Tuto technologii vyvinula společnost DuPont¹⁹. [18], [47]

3.3.5 Recyklace LDPE, HDPE a PP

Recyklace LDPE, HDPE a PP probíhá podobně jako u dvou předchozích typů plastů. Před vstupem na recyklační linku je nutné roztřídění na jedno-druhový odpad. LDPE (polyetylen s nízkou hustotou) je využíván především k výrobě fólií, které mají velkou škálu využití (například obalový materiál, tašky, sáčky).

Po vytrídění LDPE a odstranění větších nečistot je materiál rozemlet na malé kousky. Ty jsou následně roztaveny a tvarovány do tenkých plastových fólií, které jsou prodávány výrobcům. Z recyklátu LDPE jsou vyráběny například koberce nebo výrobní oděvy. [48]

Z HDPE (polyetylen s vysokou hustotou) jsou vyráběny fólie, známé jako mikroten. Ten je využíván především jako polotovar pro výrobu dalších obalů. K separaci HDPE může být použito infračervené záření, pokud plast absorbuje infračervené vlny a není příliš tmavý. Dále je plast rozdrčen na malé kousky a roztaven z důvodu zjemnění. Ochlazením vzniklé pelety jsou využívány k další výrobě (například trubky, hračky, lana). [49]

PP (polypropylen) má velké množství využití. Vyrábí se z něj průhledná balení, domácí potřeby, lana, reproduktory a další. K separaci dochází například v separačním vodním systému. PP má specifickou hustotu (0,93 - 0,95 g/cm³) a proto se bude vznášet, zatímco se ostatní plasty budou potápět. Jako u předchozích plastů dojde nejprve k rozemletí na malé kousky a následnému roztavení. Ze vzniklých pelet se vyrábí například oděvní vlákna, průmyslová vlákna, nádoby na potraviny. [50]

¹⁹DuPont dostupné z: <http://www.dupont.com/>

3.3.6 Firmy – recyklace plastů

Seznam firem, které se zabývají recyklací plastu, jsou uvedeny níže na tab. 9.

tab. 9: Seznam firem recyklující plast [51], [52]

název firmy	sídlo	recyklace	výstup
A.B.TITAN s.r.o.	Nové Heřminovy	ABS, ASA, PA6/66/11/12, PBT, PC, PC/ABS, PE-HD, PE-LD, PET, PMMA, POM, PPO/PS, PP-COPO, PP-HOMO, PS, PU, TPU, SAN	regranulát
ECO – F a.s.	Praha 2	ABS, ASA, PA6/66/11/12, PBT, PC, PC/ABS, PE-HD, PE-LD, PET, PMMA, POM, PPO/PS, PP-COPO, PP-HOMO, PS, PU, TPU, SAN	plastová drť, regranulát
ECOCYCLE, s.r.o.	Praha 1	ABS, PC, PC/ABS, PA, PMMA, PBT, POM	plastová drť
Fatra, a.s.	Napajedla	PVC, PE, PP a PET	regranulát, fólie
GLOBAL RECYCLING a.s.	Praha 4	ABS, PP, PE, PA, PS, ASA, PET, PVC, HDPE, PBT, POM	plastová drť
Ing. Vlastimil Ladýž – LADEO	Provodín	LDPE, HDPE, PP, PS	regranulát
JELÍNEK – TRADING spol. s.r.o.	Zlín	PP, LDPE, PP/LDPE	regranulát, kompaundy
J.F.PLASTY s.r.o.	Uherský Brod	PP, LDPE, HDPE, ABS, PS, PSH, PC, PA6, PA6/GF, PA66, PA66/GF SAN, ASA, PC/ABS, POM, PMMA, TPE	plastová drť
MORAPRIM, s.r.o.	Luhačovice	PE, PP, PS, PA	regranulát
Plast Komplet s.r.o.	Pardubice	PP, PA6, PA 6.6, PA 6.12, PS, PSH, ABS, PC, PBT	plastová drť, regranulát
PLASTIC UNION a.s.	Ostrava	HDPE, PP	regranulát
REKUPLAST s.r.o.	Stráž pod Ralskem	PP, HDPE, LDPE, PC, PS, PA, PMMA, PVC, PBT, POM, ABS, PC/ABS, TPE a TPO	plastová drť
REMIVA GROUP	Chropyně	HDPE, LDPE, PP, PA, HPS, PVC – soft, PVC, ABS, PS.	plastová drť
Silas plast s.r.o.	Praha 4	LDPE, LLDPE, HDPE, PP	regranulát
SOLLAU CZ s.r.o.	Velký Ořechov	ABS, ASA, HDP, LDPE, PA6, PBT, PC, PC/ABS, PC/ASA, PET, PMMA, POM, PP, PS, PVC, TPE, TPU	plastová drť, regranulát
SRNOV Recycling s.r.o.	Kroměříž	všechny druhy, PE fólie	plastová drť, regranulát
Svitap J.H.J spol. s r.o.	Svitavy	LDPE, HDPE, PP, ABS, PS	regranulát
TOMA RECYCLING a. s.	Otrokovice	PP, HDPE, PP	plastová drť, regranulát, PP etikety
VÁŽEME s.r.o.	Choceň	PP, PP T, PP GF, PP/EPDM, HIPS, PC/ABS, ABS, HDPE, PC, PA, PA GF, POM, PBT.	regranulát
SUEZ Využití zdrojů a.s.	Němčice nad Hanou	LDPE	regranulát

4 Technologie recyklační linky na plast

V této kapitole budou popsány jednotlivé typy recyklačních linek, které zpracovávají plast. Rozdělujeme několik typů recyklačních linek:

- mycí linka na plasty,
- aglomerační linka,
- regranulační linka.

4.1 Mycí linka na plasty

Do tohoto typu recyklační linky vstupuje vždy jeden druh předem vytríděného plastu, který nesmí obsahovat zbytky kovu a jeho hustota musí být nižší než hustota vody. Výstupní kapacita linky se může lišit. Záleží na typu, tloušťce i stupni kontaminace vstupního plastu. Například recyklační linka od turecké firmy BEXMAC – OZAN BİÇER ²⁰ má výstupní kapacitu 400 - 500 kg/h. [53]

Recyklační linka (obr. 24) je složena z následujících částí:

- podávací dopravník (obr. 25),
- drtič (obr. 26),
- výstupní dopravník (obr. 27),
- frikční pračka (obr. 28),
- separační vodní systém (obr. 30),
- odstředivka (obr. 31).



obr. 24: Mycí linka na plasty [53]

²⁰BEXMAC – OZAN BİÇER dostupné z: <http://ustunismakina.com.tr/?lang=en>

Podávací dopravník

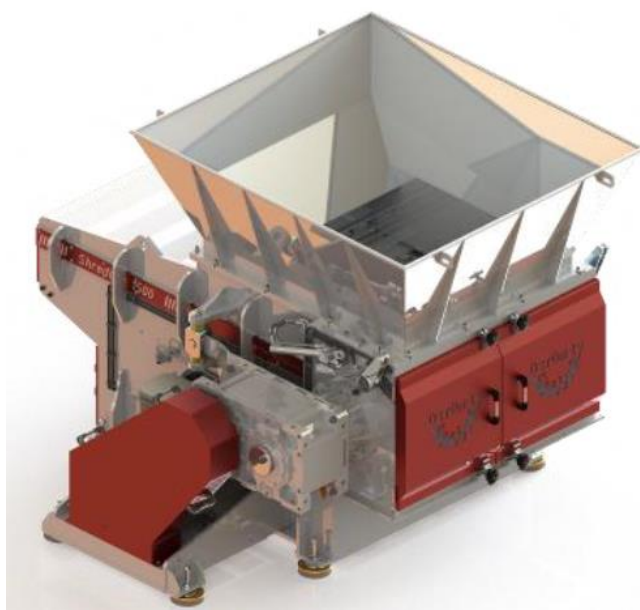
Podávací dopravník slouží k dopravování odpadního plastu do drtiče. Používá se gumový pás, který je vyztužen vrstvami tkaniny a je vybaven detektorem kovu. Pro pohon podávacího dopravníku je použit motor o výkonu 3kW. [53], [54]



obr. 25: Podávací dopravník [53]

Drtič

Z podávacího dopravníku putuje plastový odpad do drtiče. Hřídel rotoru je osazena noži, které posílají plastový materiál do pracovního prostoru, kde se nachází pevně uložené čepele. Tyto čepele se mohou otáčet v obou rotačních směrech. Drtiče jsou vybaveny kontrolou odporu, díky které lze změnit smysl otáčení rotoru, pokud dojde k uvíznutí materiálu. Materiál je drcen do té doby, dokud nedosáhne velikosti, aby prošel sítím. [53], [54]



obr. 26: Drtič [53]

Výstupní dopravník

Rozdrcený materiál je z drtiče dopravován výstupním dopravníkem s tvarem do písmene L, k jehož pohonu je používán řetězový systém a motor o výkonu 4 kW. Samotný posun materiálu je zajišťován pomocí kovových lopatek. [53]



obr. 27: Výstupní dopravník [53]

Frikční pračka

Frikční pračka je používán jako vysokorychlostní čistící stroj. Tento stroj dokáže čistit i vysoce znečištěný materiál a trvalé nečistoty. Znečištěný mletý materiál je omýván čistícím roztokem, který proudí proti materiálu. Díky vysokým rychlostem rotace a designu křídel rotoru se nečistoty dobře odtrhávají a rozpadají na malé částice. Na výstupu se nachází vnitřní clona sloužící jako odvodňovací zařízení a filtr pro nečistoty. [55]



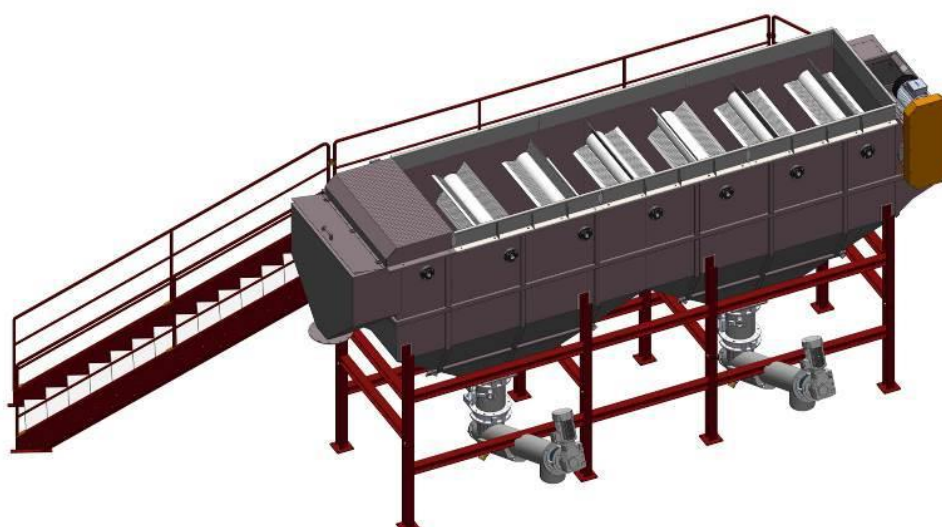
obr. 28: Frikční pračka [55]



obr. 29: Speciální design křidel rotoru [55]

Separáční vodní systém

V této části dochází k oddělení lehkých plovoucích plastů od těžkých plastů a jiných těžkých nečistot v nádrži. K pohybu materiálu je používáno 7 lopatek. Každá z prvních 6 lopatek má vlastní motor o výkonu 1,5kW. Poslední lopatka je poháněna motorem o výkonu 2,2 kW a pracuje v opačném směru než zbylé lopatky. Díky této lopatce dochází k filtrování vody zpět do nádrže. Tímto způsobem se šetří množství spotřebované provozní vody. [53]



obr. 30: Separáční vodní systém [53]

Odstředivka

Odstředivka se používá k odstranění přebytečné vody z plastových vloček. Tímto způsobem lze snížit vlhkost vloček na 3 %. [53]



obr. 31: Odstředivka [53]

Jedním z posledních kroků je vysoušení plastových vloček. Na konci vysoušení se sníží zbytková vlhkost pod 3 % a tím je materiál vhodný pro vytlačování. Vyčištěný materiál se skladuje v silech nebo se využívají tzv. big-bagy. [54]



obr. 32: Big-bagy [54]

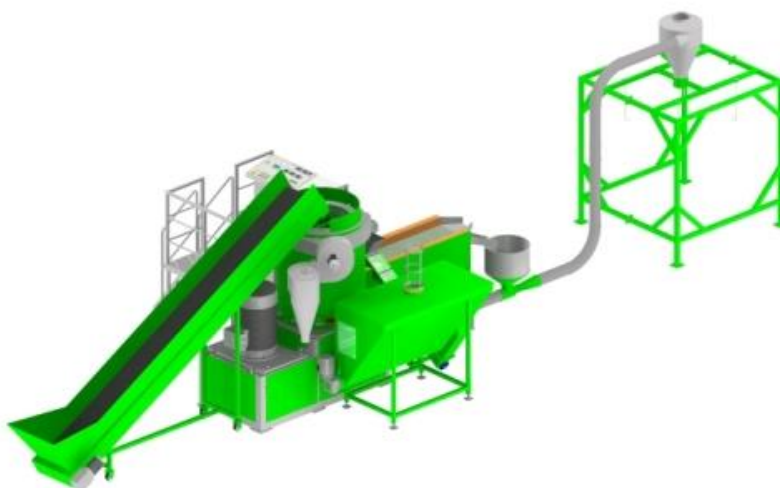
Pro přiblížení finanční náročnosti při pořízení mycí linky na plasty, jsou v tab. 10 uvedeny ceny jednotlivých částí tohoto typu recyklační linky. Jedná se o recyklační linku turecké firmy BEXMAC – OZAN BİÇER.

tab. 10: Pořizovací cena mycí linky na plasty [53]

	spotřeba [kW]	cena v EUR	cena v Kč
podávací dopravník	3	12 000	309 000
drtič	110	64 000	1 648 000
výstupní dopravník	4	18 500	476 375
frikční pračka	15	28 500	733 875
separační vodní systém	24	59 000	1 519 250
frikční pračka č. 2	11	21 500	553 625
odstředivka	20,7	23 000	592 250
celkem		226 500	5 832 375

4.2 Aglomerační linka

Mezi materiály, které lze zpracovat na aglomerační lince (obr. 33), patří LDPE, HDPE, PP, pěna, folie a vlákna. Plastový materiál může být do aglomerátoru vkládán ručně nebo pomocí pásového dopravníku. K rozmělnění materiálu dochází za použití rotujícího nožového kola, které se nachází na spodní straně pracovní komory, a po obvodu umístěných pevných ostří.



obr. 33: Aglomerační linka [54]

Výkon zařízení se liší podle typu zpracovávaného materiálu. Pro ukázkou je v následující tabulce zobrazen výkon zařízení od firmy Waste Tec s.r.o.²¹ v závislosti na typu materiálu. [54]

tab. 11: Výkon aglomerační linky [54]

materiál	model	výkon zařízení [kg/h]
LDPE	A45	50
LDPE, HDPE	A60	120
LDPE, HDPE, PP	A80	240
LDPE, HDPE, PP	A100	600
LDPE, HDPE, PP	A120	1000

4.3 Regranulační linka

Tento typ recyklační linka využívá tepelného zpracování materiálu na speciálním vytlačovacím stroji – extruderu. Vstupní surovinou jsou „chipsy“ resp. flaky. Dochází k roztavení (tab. 12) a následnému vytlačení vstupujícího materiálu ven ze stroje. Vytlačená tavenina je rozřezána na „horké hlavě“. Výsledným produktem jsou granule, které tvarem i velikostí připomínají čočku. [54]

tab. 12: Teploty tání vybraných termoplastů [56]

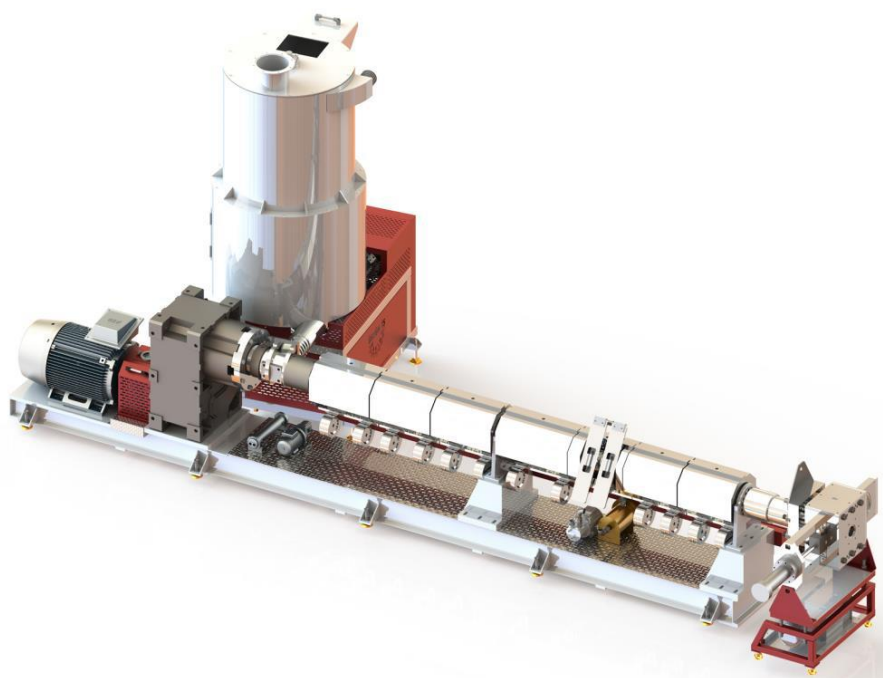
typ plastu	teplota tání [°C]
PET	250 - 260
HDPE	130 - 135
LDPE	105 - 115
PP	160 - 176

Regranulační linka má následující části:

- extruder a
- peletizér.

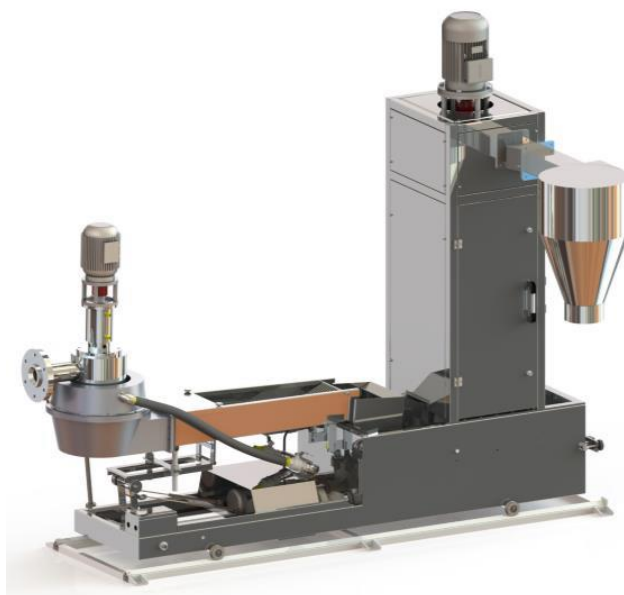
Do **extruderu** (obr. 34) jsou „chipsy“ dopraveny bočním podávacím systémem, který je poháněn motorem o výkonu 37 kW. První část extruderu je vybavena vodními kanály pro chlazení vstupního materiálu, aby se zabránilo předčasnému roztavení. V další části už dochází k samotnému tavení, ke kterému dochází pomocí sedmi topných zón. Každá topná zóna má topný výkon 13 kW. [57]

²¹Waste Tec s.r.o, dostupné z: <http://www.recyklaeni-stroje.eu/>



obr. 34: Extruder [57]

Peletizér (obr. 35) je využíván k vytvoření výsledného produktu (granulí). Vytlačená tavenina z extruderu je odřezávána otáčením nožů. Odříznuté granule se působením odstředivé síly vrhají ven do rotujícího vodního prstence, v kterém dochází k ochlazení granulí. Následně granule putují do sušící odstředivky. Celkový výkon peletizéru se pohybuje okolo 18,2 kW. [57], [58]



obr. 35: Peletizér [57]

Výrobní kapacita zařízení se liší jako u předchozích typů recyklačních linek. U regranulační linky (obr. 36) se pohybuje v rozmezí od 20 až do 1 800 kg/h. Například regranulační linka od firmy turecké firmy BEXMAC má výrobní kapacitu 1150 kg/h. [54], [59]



obr. 36: Regranulační linka [54]

Pořizovací cena extruderu a peletizéru je uvedena v následující tab. 13.

tab. 13: Pořizovací cena extruderu a peletiéru [57]

	Cena v EUR	Cena v Kč
extruder	315 000,00	8 048 250,00
peletizér	21 000,00	536 550,00
celkem	336 000,00	8 584 800,00

4.4 Energetický, ekonomický a materiálový pohled na regranulační linku

Pro přiblížení provozních nákladů recyklační linky je v této podkapitole uveden zjednodušený odhad na základě hodinové zpracovatelské kapacity.

Hodinová zpracovatelská kapacita:

- mycí linka na plast: 400 - 500 kg/h (pro účely této podkapitoly zvolena průměrná hodnota 450 kg/h),
- regranulační linka: 1 150 kg/h.

Energetická náročnost pro mycí linku na plast je vypočítána pro pracovní dobu:

- 8 hodin (scénář č. 1),
- 12 hodin (scénář č. 2),
- 16 hodin (scénář č. 3).

Recyklační linka má naplánovanou odstávku 40 dní. Energetická náročnost je zobrazena v tab. 14.

tab. 14: Energetická náročnost mycí linky na plast [53]

Mycí linka na plast: zpracovatelská kapacita 450 kg/h (scénář č. 1)			
průměrná cena kWh	4,34 Kč		
	spotřeba [kW]	denní náklad [Kč]	roční náklad [Kč]
podávací dopravník	3	104	33 852
drtič	110	3 819	1 241 240
výstupní dopravník	4	139	45 136
frikční pračka	15	521	169 260
separační vodní systém	24	833	270 816
frikční pračka č. 2	11	382	124 124
odstředivka	20,7	719	233 579
celkem	187,7	6 517	2 118 007
Mycí linka na plast: zpracovatelská kapacita 450 kg/h (scénář č. 2)			
průměrná cena kWh	4,34 Kč		
	spotřeba [kW]	denní náklad [Kč]	roční náklad [Kč]
podávací dopravník	3	156	50 778
drtič	110	3 819	1 241 240
výstupní dopravník	4	139	45 136
frikční pračka	15	521	169 260
separační vodní systém	24	833	270 816
frikční pračka č. 2	11	382	124 124
odstředivka	20,7	719	233 579
celkem	187,7	6 569	2 134 933
Mycí linka na plast: zpracovatelská kapacita 450 kg/h (scénář č. 3)			
průměrná cena kWh	4,34 Kč		
	spotřeba [kW]	denní náklad [Kč]	roční náklad [Kč]
podávací dopravník	3	208	67 704
drtič	110	7 638	2 482 480
výstupní dopravník	4	278	90 272
frikční pračka	15	1 042	338 520
separační vodní systém	24	1 667	541 632
frikční pračka č. 2	11	764	248 248
odstředivka	20,7	1 437	467 158
celkem	187,7	13 034	4 236 014

Pro pracovní dobu 8 hod zpracuje mycí linka za rok 1 170 000 kg plastového odpadu a pro pracovní dobu 12 hodin zpracuje linka 1 755 000 kg plastového odpadu.

Zpracovatelská kapacita regranulační linky je větší než zpracovatelská kapacita mycí linky. Díky tomu není nutné, aby regranulační linka měla stejný pracovní fond jako mycí linka. Pracovní doby jednotlivých linek jsou uvedeny v následující tab. 15.

tab. 15: Pracovní doba mycí a regranulační linky [53], [59]

	Zpracovatelská kapacita [kg/h]	Denní pracovní doba [h]	Roční pracovní doba [h]
mycí linka na plast	450	8	2 600
regranulační linka	1 150	3,13	1 017
mycí linka na plast	450	12	3 900
regranulační linka	1 150	4,7	1 526
mycí linka na plast	450	16	5 200
regranulační linka	1 150	6,26	2 035

Pro vypočítané pracovní doby regranulační linky je zobrazena její energetická náročnost v tab. 16.

tab. 16: Energetická náročnost regranulační linky [57], [59]

Regranulační linka: zpracovatelská kapacita: 1 150 kg/h (pracovní doba 3,13 h)			
cena kWh: 4,34 Kč			
extruder:	spotřeba [kW]	denní náklad [Kč]	roční náklad [Kč]
pohonný systém	200	2 717	883 095
Systém napájení	48	652	211 943
filtrační systém	26	353	114 802
vakuový systém	1,5	20	6 623
ohřívače	91	1 236	401 808
peletizér	18,2	247	80 362
celkem	384,7	5 226	1 698 632
Regranulační linka: zpracovatelská kapacita: 1 150 kg/h (pracovní doba 4,7 h)			
extruder:	spotřeba [kW]	denní náklad [Kč]	roční náklad [Kč]
pohonný systém	200	4 080	1 324 655
Systém napájení	48	979	317 917
filtrační systém	26	530	172 205
vakuový systém	1,5	31	9 935
ohřívače	91	1 856	602 718
peletizér	18,2	371	120 544
celkem	384,7	7 847	2 547 974
Regranulační linka: zpracovatelská kapacita: 1 150 kg/h (pracovní doba 6,26 h)			
extruder:	spotřeba [kW]	denní náklad [Kč]	roční náklad [Kč]
pohonný systém	200	5 434	1 766 380
Systém napájení	48	1 304	423 931
filtrační systém	26	706	229 629
vakuový systém	1,5	41	13 248
ohřívače	91	2 472	803 703
peletizér	18,2	494	160 741
celkem	384,7	10 452	3 397 632

Následující tab. 17 zobrazuje roční provozní náklady, kdy je uvažována životnost technologie 8 let, náklady na údržbu linky 300 000 Kč/rok a mzdové náklady (superhrubá mzda činí 28 000 Kč). Ve scénáři č. 1 jsou přítomni 3 zaměstnanci, ve scénáři č. 2 4 zaměstnanci a ve scénáři č. 3 6 zaměstnanců.

tab. 17: Roční náklady na provoz linky [53], [57]

	Pořizovací cena [Kč]		
mycí linka na plast	5 832 375,00		
regranulační linka	8 584 800,00		
celkem	14 417 175,00		
	Scénář č. 1	Scénář č. 2	Scénář č. 3
roční náklad při životnosti technologie 8 let	1 802 147 Kč	1 802 147 Kč	1 802 147 Kč
provozní náklady mycí linky	2 118 007 Kč	2 134 933 Kč	4 236 014 Kč
provozní náklady regranulační linky	1 698 632 Kč	2 547 974 Kč	3 397 632 Kč
mzdové náklady	1 008 000 Kč	1 344 000 Kč	2 016 000 Kč
náklady na údržbu linky	300 000 Kč	350 000 Kč	400 000 Kč
celkový roční náklad	6 926 786 Kč	8 179 053 Kč	11 851 793 Kč

Z pohledu materiálové náročnosti dochází ke ztrátám, které jsou způsobeny lisováním. Ztráta na mycí lince činí 90 % (ze vstupní suroviny) a ztráty na regranulační lince 97 %. Výsledné množství umytých plastů a regranulátu za rok je vypočteno na základě hodinové zpracovatelské kapacity (tab. 18).

tab. 18: Množství výsledných produktů (roční zpracovatelská kapacita) [53], [59]

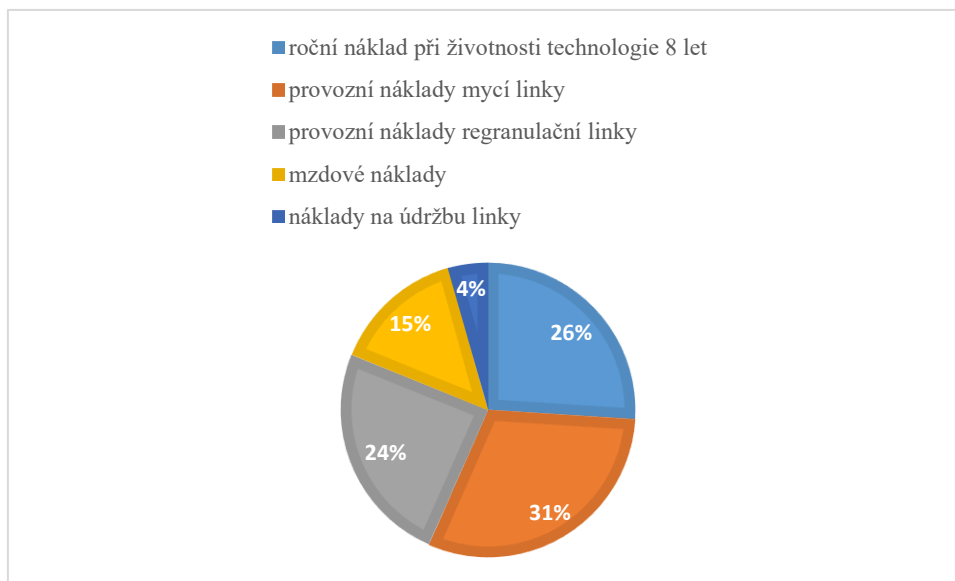
	Zpracovatelská kapacita [kg/h]	Množství výsledného produktu za hodinu [kg]
mycí linka na plast	450	405
regranulační linka	1 150	1 116
		Množství výsledného produktu za rok scénář č. 1 [kg]
mycí linka na plast	450	1 053 000
regranulační linka	1 150	1 134 899
		Množství výsledného produktu za rok scénář č. 2 [kg]
mycí linka na plast	450	1 579 500
regranulační linka	1 150	1 702 365
		Množství výsledného produktu za rok scénář č. 3 [kg]
mycí linka na plast	450	2 106 000
regranulační linka	1 150	2 270 043

Následující tab. 19 a obr. 40 zobrazuje náklady na výrobu regranulátu pro všechny 3 výše definované scénáře.

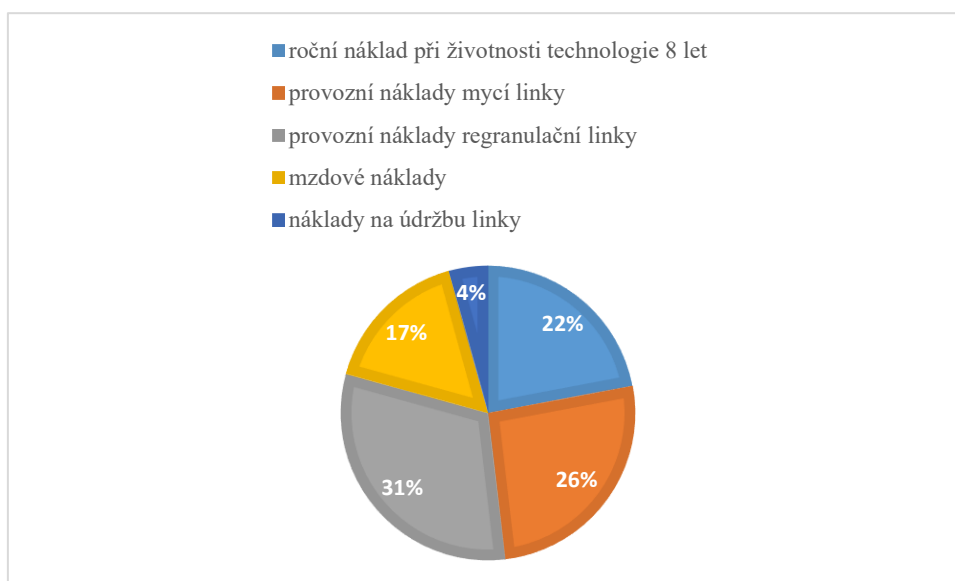
tab. 19: Náklady na výrobu regranulátu

	Náklady na provoz linky [Kč]	Roční zpracovatelská kapacita [kg]	Kč/kg
Scénář č. 1	6 926 786	1 134 899	6,1
Scénář č. 2	8 179 053	1 702 365	4,8
Scénář č. 3	11 851 793	2 270 043	5,2

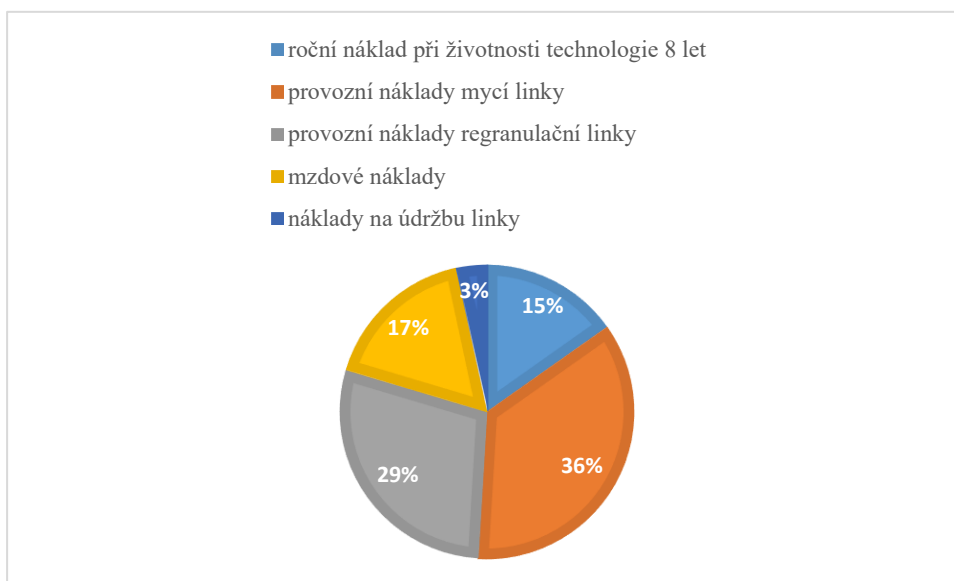
Hlavním výsledkem této podkapitoly je odhad nákladů na provoz linky a odhad nákladů na výrobu regranulátu. Následující grafy jsou výstupy z tab. 17 a tab. 19.



obr. 37: Roční náklady: scénář č. 1

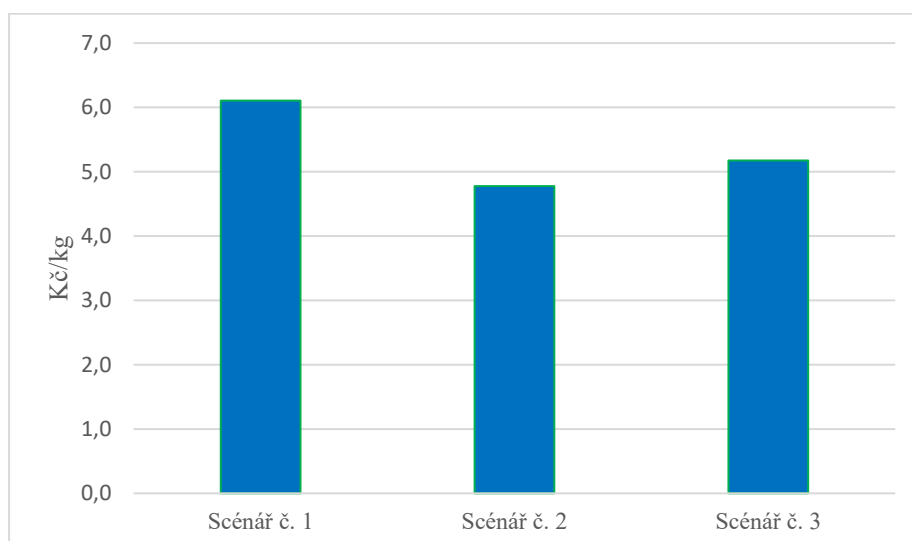


obr. 38: Roční náklady: scénář č. 2



obr. 39: Roční náklady: scénář č. 3

U scénáře č. 1 (obr. 37) jsou vynaloženy nejvyšší náklady na provoz mycí linky. Druhé nejvyšší náklady se týkají životnosti technologie. U scénáře č. 2 (obr. 38) dochází ke změně. Nejvyšší náklady jsou vynaloženy na provoz regranulační linky a druhé nejvyšší na provoz mycí linky. U scénáře č. 3 (obr. 39) převažují náklady na provoz regranulační a mycí linky stejně jako u scénáře č. 2. Všechny tři scénáře vykazují podobné procento u mzdových nákladů a nejmenší náklady zaujímají náklady na údržbu linky.



obr. 40: Náklady na výrobu regranulátu

Ze sloupcového grafu na obr. 40 je zřejmé, že nejvýhodnějším je scénář č. 2 (pracovní doba 12 hodin, 4 zaměstnanci). Náklady na výrobu regranulátu jsou zde nejnižší, jelikož

poměr ročních nákladů a roční zpracovatelské kapacity vychází ze všech scénářů nejvýhodněji. Druhá nejméně nákladná výroba regranulátu je podle scénáře č. 3 (pracovní doba 16 hodin, 6 zaměstnanců). Za nejméně vhodný scénář lze považovat scénář č. 1 (pracovní doba 8 hodin, 3 zaměstnanci). Zde vychází poměr cena/ výkon nejhůře.

Závěr

Předkládaná bakalářská práce na téma *Recyklační závody v České republice* se zabývala popisem a možnostmi recyklace vybraných komunálních odpadů. Na základě rešerše bylo zjištěno, že nejvyšší míra recyklace je zejména ve stavebním průmyslu. Práce byla zaměřena především na zpracování skla, papíru a plastů. Na základě průzkumu trhu a zpracovatelských zařízení v rámci ČR bylo zjištěno, že recyklační zařízení chybí a v případě, že bude zájmové dodržovat vysoké separační, resp. recyklační cíle, je nutné, aby byla postavena relevantní zařízení.

Úvodní část práce se věnovala nezbytnou legislativou, klíčovými pojmy z oblasti nakládání s odpady. Jednalo se zejména o zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů a Plánu odpadového hospodářství České republiky. Díky členství v Evropské unii se ČR zavazuje plnit určité cíle. Hlavním cílem je snížení množství odpadu ukládající se na sládky, tento cíle koresponduje i se zákazem skládkování, ke kterému má dojít od roku 2024 dle návrhu nového zákona o odpadech. Zákaz skládkování sebou přináší především velké množství vznikajících nových proudů, kde jedním z klíčových je třídící a recyklační proud.

V další kapitole byly sumarizovány základní statistické údaje o komunálním odpadu. Následoval přehled způsobů sběru využitelného odpadu. Samotný sběr využitelného odpadu lze považovat za kritický článek v hierarchii nakládání s odpady. Záleží především na kvalitě vytríděného odpadu, který je závislý na uvědomělosti občanů. K zlepšení současné situace je nutná větší motivace občanů.

Následovala kapitola, která přiblížila nakládání s vytríděným odpadem. Hlavním cílem této kapitoly byl popis zpracování jednotlivých složek odpadu (sklo, papír, plast) na využitelnou druhotnou surovinu. Byla vysvětlena jejich výroba, využití a jejich následná recyklace. Na závěr každé podkapitoly byly uvedeny recyklační a regranulační závody, které se zabývají zpracováním výše uvedených složek.

V poslední kapitole, která představuje hlavní výsledky práce, byly popsány technologie recyklačních a regranulačních linek pro plasty. Větší pozornost byla věnována regranulační lince, které se skládá z mycí linky na plasty a regranulační technologie pro výrobu regranulátu. U mycí linky na plast byly vysvětleny funkce jednotlivých technologických prvků – podávací dopravník, drtič, výstupní dopravník, frikční pračka, separační vodní systém, odstředivka. Následně byla vyčíslena energetická, materiálová a ekonomická náročnost linky. U regranulační linky byly vysvětleny funkce extruderu a peletizéru a taktéž popsána energetická, materiálová a ekonomická náročnost regranulační linky. Pro stanovení energetické, materiálové a ekonomické náročnosti mycí linky na plast pro pracovní dobu 8, 12 a 16 hodin a s plánovou odstávkou na 40 dní. Na základě množství vymytých plastů byla vypočtena pracovní doba regranulační linky a sestavena energetická náročnost jako u předchozího typu recyklační linky. Poté byl vyčíslen odhad ročních provozních nákladů pro vybrané scénáře:

- scénář č. 1: 6 926 786 Kč/rok,
- scénář č. 2: 8 179 053 Kč/rok,
- scénář č. 3: 11 851 793 Kč/rok.

Součástí kapitoly byl i výpočet množství výsledných produktů na základě hodinové zpracovatelské kapacity se zahrnutím ztrát způsobených lisováním, které byly stanoveny na hodnotu 90 a 97 %. Z výsledných analýz bylo zjištěno, že náklady na výrobu regranulátu se pohybují v rozmezí 4,8 Kč/kg - 6,1 Kč/kg.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KURAŠ, Mečislav. *Odpadové hospodářství*. Chrudim: Ekomonitor, 2008. ISBN 978-80-86832-34-0.
- [2] Odpady v současnosti. *Vítejte na zemi* [online]. Praha: CENIA, česká informační agentura životního prostředí, c2013 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=odpady_v_soucasnosti&site=odpady
- [3] PIKALOVÁ, Iva. Třídění odpadu pohledem práva. *Odpady* [online]. Praha: Ambruz & Dark Deloitte Legal, 2014 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/trideni-odpadu-pohledem-prava/>
- [4] Plasty. *Třídění odpadu.cz* [online]. c2007-2019 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.trideniodpadu.cz/plasty>
- [5] Grafika: Víc plastů než ryb. Zaplnili jsme oceány, mikroplasty pijeme i ve vodě. *Aktuálně.cz* [online]. Praha: Economia, 2018 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/zahranici/more-plastu-grafika-plastovy-odpad-oceany-mikroplasty/r~a9f499305cf611e885e30cc47ab5f122/?redirected=1557211281>
- [6] *Zákon o odpadech a změně některých dalších zákonů*. In: . Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2001, ročník 2001, číslo 185. Dostupné také z: https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/%24file/Z%20185_2001.pdf
- [7] Pojmy. *Komunální odpad* [online]. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.komunalniodpad.eu/?str=pojmy>
- [8] Katalog odpadů. *Katalog odpadů 2019* [online]. Tomáš Drdla, c2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.katalogodpadu.cz/index.php?k1=20&k2=1#top>
- [9] *Plán odpadového hospodářství České republiky pro období 2015 - 2024*. In: . Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2014, ročník 2014, číslo 352. Dostupné také z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh_cr_prislusne_dokumenty/\\$FILE/OODP-POH_CR_2015_2024_schvalena_verze_20150113.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh_cr_prislusne_dokumenty/$FILE/OODP-POH_CR_2015_2024_schvalena_verze_20150113.pdf)
- [10] Waste Treatment. JOINT RESEARCH CENTRE: *Circular Economy and Industrial Leadership* [online]. Seville: European Commission, 2016 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/wt.html>
- [11] *Úřední věstník Evropské unie* [online]. 2018 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=EN>
- [12] Produkce a nakládání s odpady v roce 2017. *Produkce a nakládání s odpady v roce 2017* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, [2018] [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/produkce_nakladani_odpady_2017/\\$FILE/OODP-Produkce_a_nakladani_2017-20181003.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/produkce_nakladani_odpady_2017/$FILE/OODP-Produkce_a_nakladani_2017-20181003.pdf)
- [13] *Výroční shrnutí 2017* [online]. Praha: EKO-KOM, 2017 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Obecne/Ekokom_VyrocnShrunti2017_blur_PREVIEW.pdf
- [14] Smluvní odměny obcí. *EKO – KOM* [online]. Praha: EKO-KOM, c2011-2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/cz/obce-a-mesta/odmeny-obci>

- [15] *Planeta* 2005: *Komunální odpady* [online]. 2005, 12(11/2005) [cit. 2019-04-24]. ISSN 1213-3393. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/F86001AC798514E7C12570A5001EF028/\\$file/planeta11_2korektura.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/F86001AC798514E7C12570A5001EF028/$file/planeta11_2korektura.pdf)
- [16] KROPÁČEK, Ivo. Pytlový sběr odpadů. *Hnutí DUHA* [online]. Brno: Hnutí DUHA, 2005 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: http://www.hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/typo3/Pytlovy_sber_odpadu.pdf
- [17] Svoz komunálního odpadu. *Město Žamberk* [online]. 2008 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <http://www.zamberk.cz/prezentace/dokumenty/047ac606f70329.pdf>
- [18] BEŇO, Zdeněk. *Recyklace: efektivní způsoby zpracování odpadů*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství, 2011. ISBN 9788021442405.
- [19] Základní principy cirkulární ekonomiky. *Institut cirkulární ekonomiky* [online]. Praha: Institut Cirkulární Ekonomiky, 2016 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://incien.org/zakladni-principy-cirkularni-ekonomiky/>
- [20] Jak se recykluje stavební odpad. *Třídění odpadu.cz* [online]. c2007-2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.trideniodpadu.cz/jak-se-recykluje-stavebni-odpad>
- [21] *Odpady a obce 2018* [online]. Hradec Králové: EKO-KOM, 2018 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/OD/SBORN%C3%8DK%2018.pdf>
- [22] KOHLÍK, Alois. *Základy sklářství: sklářská technika v teorii a praxi ... 2. rozš. vyd. s obrázky a diagramy*. Praha: Josef Hokr, 1948. Hokrovy technické a dílenské příručky.
- [23] Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách u stacionárních zdrojů nespádajících pod BREF: Výroba a zpracování skla. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2015 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/techniky_u_stacionarnich_zdroju_vystup_projektu/\\$FILE/000-Vyroba_a_zpracovani_skla_20160222.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/techniky_u_stacionarnich_zdroju_vystup_projektu/$FILE/000-Vyroba_a_zpracovani_skla_20160222.pdf)
- [24] Obalové sklo. *Sklárny Moravia* [online]. Úsobno: Sklárny Moravia, c2001-2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.sklomoravia.cz/obalove-sklo/>
- [25] Nápojové a užitkové sklo. *Vetroplus* [online]. Vetroplus, 2012 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: http://www.vetroplus.cz/cz/sklo/art_196/napojove-a-uzitkove-sklo.aspx
- [26] Ploché sklo. *Sklenárstvo VAK* [online]. Jacovce: Sklenárstvo VAK, c2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.vak.sk/interier-exterie/ploche-sklo/>
- [27] Přehled firem. *Sklo a keramika CZ* [online]. Praha: Asociace sklářského a keramického průmyslu ČR, c2014 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.skloakeramika.cz/prehled-firem.html>
- [28] Recyklace skla. *Asociace sklářského a keramického průmyslu ČR* [online]. Praha: Asociace sklářského a keramického průmyslu ČR, c2019 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://askpcr.cz/o-skle/recyklace-skla>
- [29] Podívejte se, co se děje se skleněným odpadem. *Jaktridit.cz* [online]. Praha: EKO-KOM, c1992-2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.jaktridit.cz/cz/co-se-deje-s-odpadem/recyklace-a-vyuziti-skla>
- [30] Fotogalerie. *Jaktridit.cz* [online]. Praha: EKO-KOM, c1992-2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.jaktridit.cz/cz/foto-a-video/fotogalerie/sklo-2>

- [31] Dotřídování skla na linkách je věda. *Tisková zpráva* [online]. Pardubice: Regionální rozvojová agentura Pardubického kraje, 2013 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.starezdance.cz/file.php?nid=3690&oid=3124540>
- [32] Přehled firem. *Sklo a keramika CZ* [online]. Praha: Asociace sklářského a keramického průmyslu ČR, c2014 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.skloakeramika.cz/prehled-firem.html>
- [33] Historie výroby papíru – Cesta papíru z Číny do Čech. *Mezi stromy* [online]. Praha: Nadace dřevo pro život, c2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.mezistromy.cz/materialy-na-bazi-dreva/historie-vyroby-papiru/odborny>
- [34] Vše o papíru a základy knižní vazby. *Vše o papíru a základy knižní vazby* [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://projekty.ogdlysa.cz/file.php?nid=12141&oid=4157688>
- [35] PRÁŠILOVÁ, Mgr. Jana a Prof. RNDr. Jiří Kameníček, CSc. Výroba papíru. *Inovace profesní přípravy budoucích učitelů chemie* [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: http://ucitelchemie.upol.cz/materialy/vkpch/vyroba_papiru_jp.pdf
- [36] Podívejte se, co se děje s papírovým odpadem. *Jaktřídít.cz* [online]. Praha: EKO-KOM, c1992-2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.jaktridit.cz/cz/co-se-deje-s-odpadem/recyklace-a-vyuziti-papiru>
- [37] *Tetra Pak* [online]. Praha: Tetra Pak Česká republika [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.tetrapak.com/cz/sustainability/recyklace-a-sber-v-cr>
- [38] *Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách (BAT) pro výrobu buničiny, papíru a lepenky* [online]. Lucemburk: Úřad pro publikace Evropské unie, 2015 [cit. 2019-05-01]. ISBN 978-92-79-48167-3. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2018/5/BREF-PP_cesky-preklad-_mensi_.pdf
- [39] Členské firmy. *Asociace českého papírenského průmyslu* [online]. Praha: Asociace českého papírenského průmyslu, c2008 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <http://www.acpp.cz/clenske-firmy/?products=>
- [40] Firmy z odvětví: Papírenský průmysl, papír, papírové výrobky, karton (lepenka). *Kompass* [online]. Praha: Kompass Czech Republic [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://cz.kompass.com/a/papirensky-prumysl-papir-papirove-vyrobky-karton-lepenka/16/page-5/>
- [41] *Recyklace plastů: Sborník referátů*. Praha, 23.11.2000. Praha: BIJO TC, 2000.
- [42] The History and Future of Plastics. *Science History Institute* [online]. Philadelphia: Science History Institute, c2019 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.sciencehistory.org/the-history-and-future-of-plastics>
- [43] Recyklační symboly plastů. *Samosebou.cz* [online]. samosebou.cz, 2018 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/2018/01/15/recyklacni-symboly-plastu/>
- [44] KADLÍKOVÁ, Lenka. Jak správně třídit odpad – značení obalů. *Příroda.cz* [online]. Vrchlabí: příroda.cz, 2006 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.priroda.cz/clanky.php?detail=689>
- [45] Skladba domovního odpadu. *Magistrát města Plzně* [online]. Plzeň: Magistrát města Plzně, c2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://odpady.plzen.eu/zajimavosti/skladba-domovniho-odpadu.aspx>
- [46] Podívejte se, co se děje s plastovým odpadem. *Jaktřídít.cz* [online]. Praha: EKO-KOM, c1992-2019 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.jaktridit.cz/cz/co-se-deje-s-odpadem/recyklace-a-vyuziti-plastu>

- [47] Možnosti recyklace plastů. *Enviweb* [online]. Brno: Enviweb, 2011 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/88360>
- [48] HAMILTON, Chris. How Is LDPE Recycled. *Sciencing* [online]. Sciencing, 2017 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://sciencing.com/ldpe-recycled-6360593.html>
- [49] Recycling of High-Density Polyethylene. *AZoCleantech* [online]. AZoCleantech, 2012 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=255>
- [50] Recycling of Polypropylene (PP). *AZoCleantech* [online]. AZoCleantech, 2012 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=240>
- [51] Katalog firem – Recyklace plastů. *PlasticPortal.eu* [online]. Nitra: ICOSA [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/podlacinnosti/ci/834/?stat=2&kraj=vsetko>
- [52] Recyklace plastů, regranuláty. *Svitap* [online]. Svitavy: Svitap J.H.J., c2017-2019 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.svitap.cz/recyklace-plastu-regranulaty/>
- [53] PE PP Rigid Washing Line. Esenyurt – Istanbul: BEXMAC, 2018.
- [54] Mycí linka na plasty. *Recyklační stroje* [online]. Praha: Waste Tec, c2019 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <http://www.recyklacni-stroje.eu/nase-nabidka/recyklace-plastu/myci-linka/>
- [55] Friction washer for cleaning contaminated plastics. *B+B Anlagenbau* [online]. Detmold: B+B Anlagenbau, c2019 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <http://www.bub-anlagenbau.de/products/washing/friction-washer/>
- [56] Termoplasty – základní druhy. *Termoplasty – základní druhy* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/18.html>
- [57] BEXMAC. Esenyurt – Istanbul. 141226B522 SITA CZ 700 KG FILM AGROFILM HATTI INGILIZCE (1).pdf
- [58] Pelletizing Machine. *EREMA* [online]. Anselden: EREMA, 2016 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.erema.com/en/pelletising/>
- [59] Granule Extruder (Side Feeding). *Üstün İş Makina*. [online]. Ergene / Tekirdağ: Üstün İş Makina., c2016 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://ustunismakina.com.tr/granul-extruder-yan-beslemeli/?lang=en>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Význam
<i>EU</i>	Evropská unie
<i>ČR</i>	Česká republika
<i>MŽP</i>	Ministerstvo životního prostředí
<i>POH</i>	Plán odpadového hospodářství České republiky
<i>KO</i>	Komunální odpad
<i>SKO</i>	Směsný komunální odpad
<i>ACPP</i>	Asociace českého papírenského průmyslu
<i>AgPR</i>	Arbeitsgemeinschaft PVC Bodenbelag Recycling

SEZNAM OBRÁZKŮ

obr. 1: Hierchie nakládání s odpady [3]	1
obr. 2: Plasty (Katalog odpadů) [8]	4
obr. 3: Prognóza nakládání s potenciálním SKO v letech 2013–2024 [9]	5
obr. 4: Produkce komunálních odpadů v ČR 2009–2017 [12]	6
obr. 5: Množství vytríděných odpadů na jednoho obyvatele za rok [13]	7
obr. 6: Sběrné místo [13]	8
obr. 7: Ukázka pytlového sběru [17]	8
obr. 8: Dosažená míra recyklace obalů za rok 2017 [21]	10
obr. 9: Využití obalového skla [24]	12
obr. 10: Využití užitkového skla [25]	12
obr. 11: Využití plochého skla [26]	13
obr. 12: Mapa sklářského průmyslu v České republice [23]	14
obr. 13: Odpadové sklo [30]	17
obr. 14: Schéma linky na úpravu střepů [18]	18
obr. 15: Chemické složení dřeva [34]	19
obr. 16: Schéma výroby papíru [35]	20
obr. 17: Slisované balíky po dotřídění [36]	21
obr. 18: Kontejner pro nápojový karton [37]	22
obr. 19: Sušení papíru [36]	24
obr. 20: Recyklační značky plastů [44]	27
obr. 21: Třídící linka [46]	28
obr. 22: Surovinová recyklace PVC [41]	31
obr. 23: Barevně vytríděné PET lahve [46]	32
obr. 24: Mycí linka na plasty [53]	35
obr. 25: Podávací dopravník [53]	36
obr. 26: Drtič [53]	36
obr. 27: Výstupní dopravník [53]	37
obr. 28: Frikční pračka [55]	37
obr. 29: Speciální design křídel rotoru [55]	38
obr. 30: Separační vodní systém [53]	38
obr. 31: Odstředivka [53]	39
obr. 32: Big-bagy [54]	39
obr. 33: Aglomerační linka [54]	40
obr. 34: Extruder [57]	42
obr. 35: Peletizér [57]	42
obr. 36: Regranulační linka [54]	43
obr. 37: Roční náklady: scénář č. 1	50
obr. 38: Roční náklady: scénář č. 2	50
obr. 39: Roční náklady: scénář č. 3	51
obr. 40: Náklady na výrobu regranulátu	51

SEZNAM TABULEK

tab. 1: Stanovení postupných hodnot v budoucích letech [11]	5
tab. 2: Seznam firem sklářského průmyslu [27].....	15
tab. 3: Závody sklářského průmyslu [32].....	18
tab. 4: Spotřeba vody v papírnách a lepenkárnách zpracovávajících sběrový papír [38]23	
tab. 5: Závody papírenského průmyslu [39], [40].....	24
tab. 6: Výhřevnost různých paliv [41].....	29
tab. 7: Životnost výrobků z PVC [41].....	29
tab. 8: Příklady použití recyklátu PVC [41].....	30
tab. 9: Seznam firem recyklující plast [51], [52]	34
tab. 10: Pořizovací cena mycí linky na plasty [53]	40
tab. 11: Výkon aglomerační linky [54]	41
tab. 12: Teploty tání vybraných termoplastů [56].....	41
tab. 13: Pořizovací cena extruderu a peletiéru [57].....	43
tab. 14: Energetická náročnost mycí linky na plast [53].....	45
tab. 15: Pracovní doba mycí a regranulační linky [53], [59]	46
tab. 16: Energetická náročnost regranulační linky [57], [59].....	47
tab. 17: Roční náklady na provoz linky [53], [57]	48
tab. 18: Množství výsledných produktů (roční zpracovatelská kapacita) [53], [59].....	49
tab. 19: Náklady na výrobu regranulátu	49

CHEMICKÉ NÁZVOSLOVÍ

Chemická značka	Význam
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
Al ₂ O ₃	oxid hlinitý
ASA	akrylester styren akrylonitril
B ₂ O ₃	oxid boritý
CaCO ₃	uhličitan vápenatý
CaO	oxid vápenatý
CO ₂	oxid uhličitý
HIPS	houževnatý polystyren
HDPE	polyethylen s vysokou hustotou
K ₂ O	oxid draselný
LDPE	polyethylen s nízkou hustotou
NaCl	chlorid sodný
Na ₂ O	oxid sodný
NaOH	hydroxid sodný
Na ₂ S	sulfid sodný
PA	polyamid
PbO	oxid olovnatý
PBT	polybutylen-tereftalát
PC	polykarbonát
PC/ABS	polykarbonát/akrylonitril-butadién-styrén
PC/ASA	
PE	polyethylen
PET	polyethylentereftalát
PE – HD	polyethylen s vysokou hustotou
PE – LD	polyethylen s nízkou hustotou
PMMA	polymethylmethakrylát
POM	polyoxymethylen
PP	polypropylen
PP – COPO	polypropylen kopolymer
PP/EDPM	polypropylen/ethylen-propylen-dienový kaučuk
PP – HOMO	polypropylen homopolymer
PPO/PS	polyfenylenoxid/polystyren
PS	polystyrene
PSH	polystyren houževnatý
PU	polyuretan
PVC	polyvinylchlorid
SAN	styren-akrylonitril
SiO ₂	oxid siřičitý
TPE	termoplastický elastomer
TPO	termoplastický polyolefin
TPU	termoplastický polyuretan